

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS E DA COLA NA
MADEIRA LAMINADA COLADA**

ADOLAR RICARDO BOHN

Orientador - Prof^o Dr. Carlos Alberto Szűcs

Florianópolis, Setembro de 1995

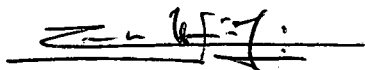
INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS E DA COLA NA MADEIRA LAMINADA COLADA

Adolar Ricardo Bohn

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de

Mestre em Engenharia Civil

Especialidade **Construção Civil** e aprovada em sua forma final pelo programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil

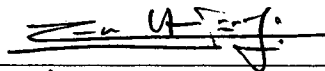


Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs - (Orientador)



Prof. Dr. Glicério Triches - (Coord. do Curso)

Banca Examinadora:



Dr. Carlos Alberto Szücs - (Presidente) - UFSC



Dr. Fábio Armando Botelho Cordovil - UFSC



Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr - EESC /USP

Prof. Dr. João de Deus Medeiros - (Suplente) - UFSC

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs, pela tranquilidade e segurança com que nos orientou nos trabalhos, até a conclusão desta dissertação.

Ao Departamento de Engenharia Civil da UFSC, por nos proporcionar as condições para desenvolver os trabalhos.

Aos colegas, André Graeff e Humberto Arruda, que sempre priorizaram as necessidades do grupo.

Aos estagiários, Cláudio Vicente Zanon e Cristiano Inácio Ricardo de Paiva, que participaram de todas as etapas, sempre visando a causa mais nobre, o aprendizado.

Ao funcionário, Paulo Fortkamp, pela paciência com que nos auxiliou na montagem dos experimentos.

À empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda., pela doação da madeira necessária ao desenvolvimento do trabalho.

A empresa Alba Química Indústria e Comércio Ltda., que doou toda cola consumida durante os trabalhos.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que, pelo seu programa de financiamento, possibilita a existência dos cursos de pós-graduação.

Aos amigos e parentes que muitas vezes souberam relevar as ausências e implicâncias.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Minha esposa Rosana, os filhos, Fernando, Gabriel e Débora, o irmão Edson merecem deferência especial pelo apoio e entusiasmo que souberam transmitir durante todo o curso de pós-graduação. Aos pais agradeço a mais nobre das heranças, a vontade de aprender.

RESUMO

Pretendeu-se contribuir para a redução do custo da madeira laminada colada, através da possibilidade do aumento da espessura das lâminas e da diluição da cola. Para levar o estudo a efeito, utilizou-se o *Pinus Taeda* e *Elliotii*, provenientes da região do planalto do estado de Santa Catarina. Como adesivo se usou a resorcina-fenol-formol. Primeiramente determinou-se as propriedades físicas e mecânicas das duas espécies. As duas se revelaram igualmente adequadas para o estudo visado. Optou-se então pelo *Pinus Taeda*, por ser o mais usado nos reflorestamentos do estado. Para o estudo da diluição do adesivo usamos água pura, álcool puro e uma mistura dos dois. Os mesmos foram adicionados em percentagens variando de 10% a 30%, e feitos ensaios de cisalhamento e tração normal em corpos de prova. A partir destes dados concluiu-se que o tipo de diluente não determinava diferença nos resultados. Preparou-se então mais corpos de prova, com 40% e 50% de água. Após os ensaios, por análise estatística e também por inspeção visual das fraturas, se conclui que 40% de água seria a diluição apropriada para a espécie *Pinus Taeda*. Confeccionaram-se então 8 vigas de 100mmx 150mm x 2700mm, usando esta diluição. Estas vigas foram ensaiadas à flexão simples a 4 pontos, até a ruptura, com medição da flecha. As resistências de ruptura e módulo de elasticidade foram comparados com os mesmos valores obtidos em vigas onde o adesivo foi usado puro. A comparação estatística comprovou que, nos valores apurados, não houve diferença significativa, sendo viável a diluição. Para o estudo da variação da espessura das lâminas, se confeccionaram 6 vigas com cada espessura de lâmina. As espessuras usadas foram de 10, 20, 30, 40 e 50mm. As dimensões das vigas, o ensaio e os valores apurados foram iguais às dimensões, ensaio e valores do estudo da diluição. Fez-se a comparação entre os grupos de vigas com lâminas de espessuras diferentes e, estatisticamente, não houve diferença significativa nos resultados.

ABSTRACT

This work aims at investigating the influence of the thickness reduction and glue dilution, on the final cost of glued-laminated timber. Such investigation has been carried out by testing the *Pinus Taeda* and *Pinus Elliottii*, brought from the "Planalto Catarinense", a region of the Santa Catarina State, in Brazil. Resorcine-phenol-phormaldehyde has been used as glue. Firstly, the mechanical properties of the two species have been worked out. Both species presented the necessary adequacy to the proposed research. The *Pinus Taeda* specie has been selected, since it is the most used in the reforestation programs in the State. Pure water, pure alcohol and a mixture of both, have been used to dilute the glue, in percentages varying from 10% to 30%. Several shear as well as normal traction tests were carried out on standard wood specimens. With the above percentages, the results obtained indicated that the dilutants had no effect on the performed tests. Further tests with 40% and 50% of water revealed that 40% is the optimum percentage for the *Pinus Taeda* specie. Eight test beams with dimensions 100mm x 150mm x 2700mm were then built with 40% of water. Such beams were tested for pure bending up to failure, measuring the maximum deflection. The strength and elastic modulus were compared to corresponding values obtained from beams specimens in which no water dilution has been done. A statistical analysis has shown that there were no significant differences in the measured values, being viable the dilution.

The layer thickness were investigated by testing six different beams. The thicknesses adopted were 10, 20, 30, 40 and 50mm. The beams dimensions, the tests performed and the results obtained were respectively the same as from the dilution study. A comparison between the two groups of beams, with different layers' thicknesses, has been made. The conclusion reached is that there is no statistical difference in the results.

SUMÁRIO

Relação de figuras

Relação de fotografias

Resumo

Abstract

1. GENERALIDADES

1.1. Introdução	1
1.1.1 A humanidade e a madeira.....	1
1.1.2. Significância econômica da madeira.....	1
1.1.3. Consumo atual de madeira no mundo.....	2
1.1.4. O problema da madeira como material de construção no Brasil.....	2
1.2. Justificativa.....	3
1.2.1. Conceito de madeira laminada colada.....	3
1.2.2. A produção de madeira no estado de Santa Catarina.....	4
1.3. Objetivo.....	5

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....

7

2.1. Introdução.....	7
2.2. A madeira.....	7
2.3. A cola.....	8
2.4. A madeira laminada colada.....	10
2.4.1. O material.....	10
2.4.2. O custo.....	11
2.5. A estatística.....	11

2.5.1. Frequência.....	11
2.5.2. Distribuição de frequência.....	12
2.5.3. Média.....	13
2.5.4. Desvio-padrão.....	13
2.5.5. Coeficiente de variação.....	13
2.5.6. Distribuição normal.....	14
2.5.7. Testes de normalidade.....	14
2.5.8. O coeficiente de assimetria g_1	15
2.5.9. Teste de Smirnov-Kolmogorov.....	15
2.5.10. Análise de valor espúrio.....	16
2.5.11. Comparação das médias de K grupos.....	17
2.5.12. Comparação de médias pelo método de Duncan.....	18
2.6. Cargas e esforços.....	19
 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	 23
3.1. Introdução.....	23
3.1.1. Diagrama das atividades.....	23
3.1.2. Quadro resumo dos experimentos.....	24
3.2. Identificação física e botânica dos <i>Pinus Taeda</i> e <i>Elliottii</i>	25
3.2.1. Caracterização botânica.....	25
3.2.2. Caracterização anatômica.....	26
3.3. Determinação das características físicas.....	31
3.3.1. Teor de umidade.....	31
3.3.2. Massa específica.....	32
3.3.3 Espessura dos anéis.....	33

4. ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	35
4.1. Resistência à compressão paralela.....	35
4.2. Resistência à tração normal.....	35
4.3. Resistência à tração paralela.....	36
4.4. Resistência à flexão simples.....	37
4.5. Resistência ao cisalhamento.....	39
4.6. Tratamento estatístico dos dados.....	40
5. ESTUDO DA DILUIÇÃO DO ADESIVO.....	42
5.1. Introdução.....	42
5.2. Metodologia.....	42
5.3. Descrição da confecção e ensaio dos corpos de prova e das vigas.....	42
5.3.1. Confecção dos corpos de prova.....	42
5.3.2. Confecção das vigas.....	44
5.3.3. Ensaio das vigas.....	45
5.4. Tratamento estatístico dos resultados dos ensaios dos corpos de prova.....	46
5.4.1. Comparação dos resultados dos corpos de prova.....	50
5.5. Tratamento estatístico dos resultados do ensaio das vigas.....	54
6. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS VIGAS.....	61
6.1. Introdução.....	61
6.2. Metodologia.....	61
6.3. A confecção das vigas.....	61
6.4. O ensaio.....	61

6.5. Análise estatística dos resultados.....	61
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	65
7.1. Conclusões.....	65
7.2. Sugestões.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ANEXOS

1. Peso seco, peso natural, umidade natural, volume e massa específica dos corpos de prova.
2. Resistências à compressão paralela, tração normal, tração paralela e ao cisalhamento, nos corpos de prova.
3. Resistência à ruptura por flexão simples e módulo de elasticidade, nos corpos de prova.
4. Resistência à ruptura por tração normal e cisalhamento, nos corpos de prova com cola diluída e cola pura.
5. Resistência à ruptura por flexão simples e módulo de elasticidade das vigas com cola diluída e cola pura.
6. Resistência à ruptura por flexão simples e módulo de elasticidade das vigas com variação da espessura das lâminas.

RELAÇÃO DAS FIGURAS

FIG. 1.1- Produção e consumo mundial anual de madeira.

FIG. 1.2- Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina.

FIG. 2.1- Componentes de uma junta de colagem.

FIG.2.2- Gráficos que representam a distribuição de frequências.

FIG.2.3- Gráfico característico da distribuição normal.

FIG. 2.4- Diagrama dos esforços em viga bi-apoiada com carga central.

FIG.2.5- Diagrama dos esforços em viga bi-apoiada com cargas aplicadas nos extremos do terço médio.

FIG.3.1- Modelo de parede celular de um traqueídeo.

FIG.3.2.- Distribuição dos constituintes químicos na parede celular de um traqueídeo.

FIG.3.3- Estrutura celular de uma gimnosperma.

FIG.3.4- Estrutura celular de uma angiosperma.

FIG.3.5- Seção transversal de uma gimnosperma.

FIG.3.6- Seção transversal de uma angiosperma não anelar.

FIG.3.7- Seção transversal de uma angiosperma anelar.

FIG.3.8- Seção transversal de uma angiosperma semi-anelar.

FIG.3.9- Estrutura macroscópica do tronco.

FIG.3.10- Corpo de prova para determinação da massa específica.

FIG.3.11- Medida dos anéis de crescimento.

FIG.4.1- Corpo de prova e esquema do ensaio de compressão paralela às fibras.

FIG.4.2- Corpo de prova e esquema do ensaio de tração normal às fibras.

FIG.4.3- Corpo de prova e esquema do ensaio de tração paralela às fibras.

FIG.4.4- Corpo de prova e esquema do ensaio de flexão simples a 4 pontos, para corpo de prova de 20mm x 20mm x 400mm.

FIG.4.5- Esquema do ensaio de flexão simples a 4 pontos, para corpo de prova de 50mm x 50 x 760mm.

FIG.4.6- Corpo de prova e esquema do ensaio de cisalhamento.

FIG.5.1- Corpo de prova com linha de colagem, para ensaio de tração normal e cisalhamento.

FIG.5.2- Vista frontal e vista de perfil do dispositivo de prensagem das vigas.

FIG.5.3- Esquema do ensaio de flexão a 4 pontos das vigas.

RELAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS

FOTO.5.1- Ilustração do dispositivo de prensagem das vigas.

FOTO.5.2- Ilustração do ensaio de flexão a 4 pontos das vigas.

FOTO5.3- Aspectos da fratura, após ensaio de cisalhamento, usando 30% de água.

FOTO.5.4- Aspectos da fratura, após ensaio de cisalhamento, usando 40% de água.

FOTO.5.5- Aspectos da fratura, após ensaio de cisalhamento, usando 50% de água.

FOTO.5.6- Aspectos da fratura, após ensaio de tração normal, usando 30% de água.

FOTO.5.7- Aspectos da fratura, após ensaio de tração normal, usando 40% de água.

FOTO.5.8- Aspectos da fratura, após ensaio de tração normal, usando 50% de água.

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUÇÃO

1.1.1. A HUMANIDADE E A MADEIRA

A madeira é talvez o recurso natural mais antigo de que o homem dispunha, para satisfazer suas necessidades básicas. Era dela que se supria de energia, material de construção, alimentos e toscas ferramentas (19).(*)

Esta primitiva associação entre homem e madeira se perpetuou e parece não se romper tão cedo. Enquanto o homem evoluiu cultural e tecnologicamente, a madeira continuou se revelando apta a suprir as novas exigências que lhe eram impostas. Várias culturas do passado tiveram na madeira o seu sustentáculo. Seu primeiro uso provavelmente foi para construir abrigos, função que continua desempenhando muito bem até os dias atuais. A história atesta também a importância da madeira na fabricação de veículos de transporte, notadamente transporte naval. A hegemonia naval e comercial de algumas nações tinha como sustentáculo uma vasta reserva florestal de madeiras próprias para a fabricação das embarcações. Apesar das inúmeras fontes de energia ora disponíveis, o consumo de madeira como combustível continua crescendo, em termos absolutos, até a presente data (4).

1.1.2. SIGNIFICÂNCIA ECONÔMICA DA MADEIRA

A madeira e os compósitos da madeira têm sido até hoje de uma enorme importância econômica para as nações, principalmente para as desenvolvidas e industrializadas, porque, se não a produzem, a compram e lhe agregam valor. Na América do Norte, durante a década de 1970, foram usados mais produtos de madeira para a construção do que todos os outros materiais combinados. Além do mais, o consumo mundial de madeira é igual à produção de ferro e aço. Assistimos hoje a muitas formas de uso da madeira. Como matéria prima para habitação, principalmente unifamiliares e pequenas moradias coletivas, a madeira é a principal. Devido a grandes modificações na disponibilidade de alguns recursos naturais, outras fontes de matéria prima se fazem necessárias. A madeira, por ser fonte renovável, é uma destas alternativas. Assim a forma tradicional de madeira serrada nas construções está perdendo importância, pela complementação de novos compósitos de madeira, altamente elaborados. Madeira laminada, madeira apilada, aglomerados, compensados, e suas combinações, são os vários tipos de compósitos que se destinam a substituir ou complementar a madeira serrada nas construções. A madeira é um dos muitos recursos naturais cujo uso e produção estão estreitamente ligados ao bem estar humano, na produção de abrigos, energia, alimentos e produtos industrializados. Chega-se a reconhecer aos poucos que todas estas funções essenciais da sociedade humana estão intimamente relacionadas e que a modificação em uma delas pode mudar substancialmente outras. Altos níveis de poluição e diminuição do estoque de energia evidenciam a importância da capacidade produtiva dos sistemas naturais, entre eles, das florestas. Sua capacidade de absorver a poluição enquanto usam a energia solar para produzir biomassa tem dado, atualmente, às florestas um importante lugar na economia. A importância das florestas pode somente aumentar num mundo em que outras fontes de matéria prima não renovável se exaurem rapidamente. Daí a importância da utilização da madeira de reflorestamento para a construção civil, uma vez que a mesma é de fonte renovável (4).

* O número entre parênteses se refere à ordem que a referência ocupa na relação bibliográfica alfabética

1.1.3. CONSUMO ATUAL DE MADEIRA NO MUNDO

O esquema abaixo ilustra o destino e consumo mundial de madeira por ano (19)

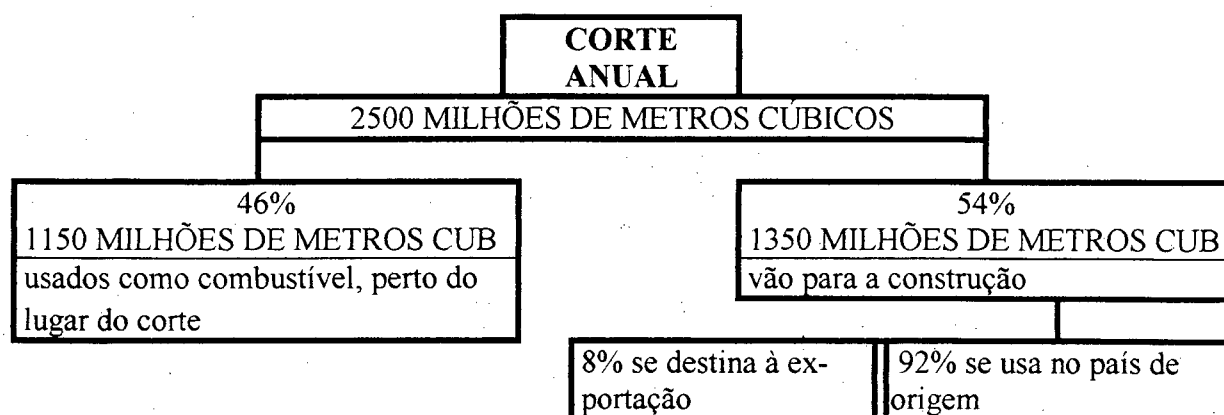


FIG. 1.1 - Produção e consumo mundial anual de madeira

Os percentuais acima são ainda fracionados da seguinte forma:

46% - combustível	0,6% - exportada em painéis
4,6% - exportada em toras	45,9%- utilizada no país de origem
2,9% - exportada serrada	

1.1.4. O PROBLEMA DA MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO NO BRASIL

A grande quantidade de madeira de excelente qualidade e fácil acesso, disponível no Brasil até algumas décadas atrás, seguramente produziu seus efeitos. Uma política econômica, especialmente voltada para a exportação, certamente não desprezaria a madeira como fonte de divisas. Devastaram-se rapidamente as florestas mais acessíveis. Atualmente, embora 85% da floresta amazônica esteja intocada, o acesso difícil e a distância de transporte oneram o custo da madeira a tal ponto que ao seu uso se associa a imagem de riqueza e ostentação. Portanto, o uso de madeiras nobres é elitizado e não popular, prevalecendo em edificações de altíssimo padrão.

Havendo interesse em destinar a madeira de excelente qualidade para a exportação, os incentivos para pesquisa se destinavam para outros materiais e outras técnicas de edificações, que de fato muito evoluíram. Culturalmente, disseminou-se a idéia de que a madeira é um material menos nobre e deveria ser usada em edificações menos nobres: casas mais simples, casas provisórias, galpões, estábulos(22). Conseqüentemente, tais edificações destinavam-se a pessoas com nível de exigência menos apurado, o que contribuiu para que a mão-de-obra, as ferramentas e os próprios projetos não evoluíssem na mesma proporção dos demais materiais disponíveis e permitia o uso de madeira de pior qualidade.

Neste quadro, a madeira, como material de construção, ficou completamente desprestigiada a nível interno de Brasil, e ninguém investiu em reflorestamentos destinados à madeira de construção. Paralelamente, nas pequenas e médias propriedades, que predominam nos estados do Sul do Brasil, por não terem acesso ao mercado externo, ocorria a destruição e desperdício da mata nativa. A destruição se caracterizava pela derrubada com o fim único de limpar o

terreno e substituir a floresta por culturas sazonais, não perenes, com retorno econômico maior a curto prazo, sem preocupação a longo prazo. O desperdício acontecia sob a forma de queimadas, técnicas inadequadas de desdobro, falta de tratamento preservativo, uso e projetos inadequados.

A valorização da madeira como material de construção, apesar de parecer paradoxal, poder-se-á converter num grande fator de preservação de nossas poucas florestas nativas ainda existentes. Isto porque passará a ter um valor unitário capaz de oferecer atrativos à prática de reflorestamento com espécies próprias para a construção. Tais reflorestamentos garantirão a preservação de nossas matas nativas, além de trazerem benefícios periféricos na preservação da fauna.

Este novo quadro já está se configurando de forma insipiente, posto que há 30 anos ocorrem vastos reflorestamentos de pinus no Sul do Brasil, com o fim específico da produção de pasta de celulose.

Atualmente ocorre a maturação destas árvores, e se verifica que 40% desta madeira vai para a construção civil, principalmente na forma de componentes: tacos, forras, aberturas internas, lambris e divisórias (22).

Acontecimentos ocorridos nas duas últimas décadas, como a crise de energia e o rápido esgotamento das reservas naturais de certos materiais, despertaram uma nova consciência em relação à madeira. Que a madeira é uma das únicas fontes renováveis de material de construção no planeta. Que a pouca energia necessária ao processo de renovação é totalmente suprida pela natureza. Que a energia necessária para sua extração e beneficiamento é ínfima, se comparada à energia necessária para extrair e beneficiar outros materiais.

Politicamente, algumas iniciativas, como financiamento de conjuntos habitacionais de madeira, patrocínio de exposições de casas industrializadas de madeira, indicam mudança de mentalidade no setor público.

No campo da tecnologia, embora alguém das necessidades, ocorrem estudos e pesquisas nos processos de tratamento preservativo, na concepção de projetos, nas técnicas de desdobro, no cultivo, nas formas de aglomeração e no desempenho da madeira como material de construção.

1.2. JUSTIFICATIVA

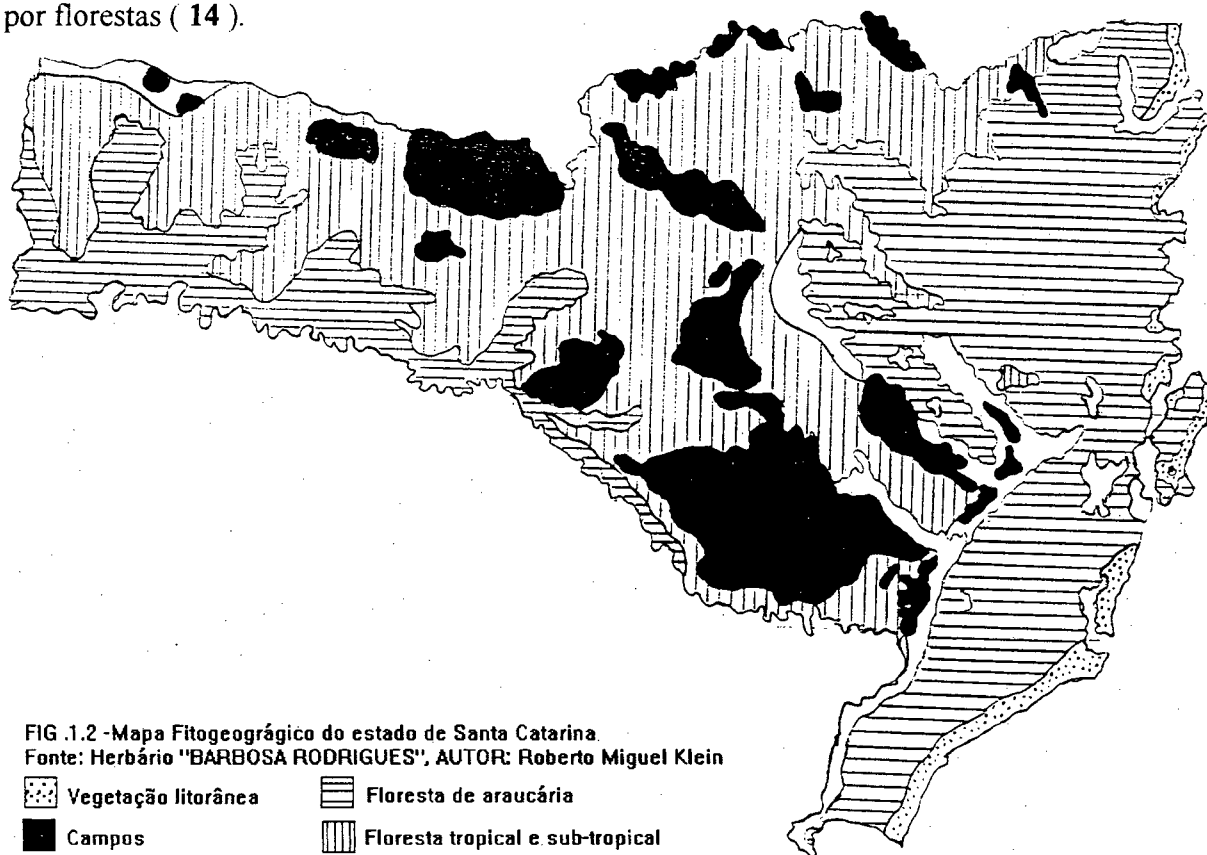
1.2.1. CONCEITO DE MADEIRA LAMINADA COLADA

A prática de colar madeira é bastante antiga, remontado à época dos faraós do Egito, posto que nas pirâmides foram encontrados baús de madeira com juntas coladas, por sinal ainda perfeitas(21). Em alguns países do hemisfério norte, notadamente Canadá, França, Alemanha, a técnica de colar madeira mereceu estudos há longa data, conduzindo à madeira laminada colada, com resultados excelentes. Fabricar madeira laminada colada consiste em se colar lâminas, neste caso tábuas, para recompor peças estruturais de dimensões maiores, a partir de peças de pequenas dimensões (21). Esta possibilidade de compor peças de grandes dimensões a partir de pequenas peças é a principal vantagem, visto que árvores de grande porte estão se tornando cada vez mais escassas e de difícil acesso. Porém há ainda outras vantagens decorrentes do processo, como: reduzir o número de ligações nas estruturas, porque se trabalha com elementos de maiores dimensões; as dimensões dos elementos não estão mais limitadas pela dimensão das árvores e tão somente pelas condições de transporte;

eliminar ou diluir os defeitos naturais da madeira, conseguindo com isto peças de comportamento melhor e mais homogêneo; aumentar a tensão admissível na ordem de 10% em relação à madeira maciça; racionalizar a produção através da pré-fabricação; possibilitar a confecção de peças curvas com raios pequenos, raios variáveis e até em planos diferentes; liberar a criatividade, possibilitando efeitos estéticos variados, dificilmente igualáveis por outros materiais(21).

1.2.2. A PRODUÇÃO DE MADEIRA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Entre os três estados do sul, Santa Catarina era o estado com maior percentual de área coberta por florestas (14).



TAB. 1.1- Cobertura vegetal original do estado de Santa Catarina

TIPO DE COBERTURA VEGETAL ORIGINAL	ÁREA - ha	PERCENTAGEM
Campos	635.800	6,6
Vegetação litorânea	412.800	4,3
Floresta tropical e sub-tropical	2.877.900	30,0
Floresta de araucária	5.669.300	59,1
ÁREA TOTAL DO ESTADO	9.595.800	100

Até o início deste século esta situação estava praticamente intocada. Em 1980 já havia ocorrido uma devastação florestal de 66,4%, sendo que em 1986 esta cobertura se restringia a parques 14%, e atualmente tem-se a seguinte situação (14).

TAB. 1.2- Cobertura vegetal atual do estado de Santa Catarina

TIPO DE COBERTURA VEGETAL ATUAL	ÁREA - ha	PERCENTAGEM
Floresta original	469.251	6,0
Capoeiras	1.877.004	24,0
Reflorestamento com eucaliptos	60.938	0,8
Reflorestamento com pinus	291.000	3,7
ÁREA TOTAL	2.698.193	34,5

A atividade industrial relacionada ao setor madeireiro apresenta atualmente o seguinte quadro no estado:

Operam no estado 4.980 empresas, legalmente constituídas, que se dedicam à industrialização da madeira. O consumo anual de madeira no estado está entre 18 e 28 milhões de metros cúbicos. Grande parte deste consumo se dá sob a forma de combustível, uma vez que a energia de carvão é 75% mais barata que a de petróleo e 85% mais barata que a energia elétrica. 70% deste consumo é suprido pelas florestas do estado e 30% provém da importação de outros estados. Levantamentos indicam que o estado possui um estoque de 305 milhões de metros cúbicos de madeira, incluindo florestas nativas e reflorestadas, o que permitiria sustentar, na melhor das hipóteses, o consumo atual por um período de, no máximo, 16 anos (10). Há que se considerar, para amenizar o quadro exposto, que anualmente estão sendo reflorestados em torno de 10.000 ha em Santa Catarina (14).

1.3. OBJETIVO

Por causa de sua origem natural, as propriedades físicas da madeira apresentam freqüente e usualmente um grau de variação grande. Estas variações são em parte resultado das condições de crescimento, como clima, solo, umidade, nutrientes, e em parte determinadas hereditariamente pelas diferentes origens genéticas. Não é incomum o peso específico variar trinta vezes entre espécies, seis vezes na mesma espécie e três vezes entre madeiras do mesmo anel, em função da variação das estações do ano (4).

Estas variações, aliadas às condições de anisotropia que a madeira apresenta nas direções radial, axial e tangencial, com a falta de homogeneidade, fazem com que uma tecnologia, como a da madeira laminada colada, não seja simplesmente transferível para as condições do Brasil, sem que sejam feitas as devidas adaptações. Empresários que recentemente ingressaram no ramo da fabricação da madeira laminada colada perceberam esta necessidade à medida que as características de seus produtos ficavam aquém das expectativas. Além disso o insumo adesivo representa em torno de 40% (*) do custo final do produto. Ensaio de cisalhamento e tração normal na junta de colagem, feitos e observados no laboratório de Experimentação em Estruturas da UFSC, forneceram indícios de incompatibilidade entre as propriedades da madeira e a eficiência da cola.

O presente trabalho tem como objetivos: contribuir para a redução do custo da madeira laminada colada, sem afetar, evidentemente, seu desempenho como elemento estrutural. Para tal se propõe:

OBJETIVO GERAL

CONTRIBUIR PARA A REDUÇÃO DO CUSTO DA MADEIRA LAMINADA COLADA SEM AFETAR SEU DESEMPENHO COMO ELEMENTO ESTRUTURAL.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 - DETERMINAR AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ESPÉCIES PINUS TAEDA E PINUS ELLIOTTII, PROCEDENTES DO PLANALTO CATARINENSE;**
- 2 -VERIFICAR QUAL A INFLUÊNCIA QUE A ESPESSURA DAS LÂMINAS EXERCE SOBRE O DESEMPENHO DO ELEMENTO ESTRUTURAL DE MADEIRA LAMINADA COLADA;**
- 3 - VERIFICAR COMO E QUANTO SE PODERÁ DILUIR O ADESIVO PARA TORNAR SUA EFICIÊNCIA MAIS COMPATÍVEL COM A RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE PINUS TAEDA E PINUS ELLIOTTII.**

* valor coletado através de informação na indústria

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se dar uma noção quanto da literatura disponível sobre o assunto envolvendo a madeira laminada colada foi efetivamente resgatada e consultada, para embasar teórica e tecnicamente o trabalho proposto. Apresentar as principais ferramentas necessárias para chegar ao objetivo proposto.

2.2. A MADEIRA

RIGAU (19) aborda, de forma bastante genérica, aspectos da importância da madeira como material de construção. Como material cujo emprego evolui com a própria evolução do homem. Sua importância econômica para os povos que a possuem. Um quadro do consumo e produção mundial de madeira e uma classificação botânica.

BODIG (4) faz um estudo bastante detalhado sobre a estrutura anatômica da madeira. Suas características de anisotropia ortotrópica, heterogeneidade e assimetria. A constituição, formato e funções dos elementos anatômicos da madeira. Como estes elementos anatômicos variam segundo as classes botânicas e influenciam as propriedades físicas e mecânicas.

BUCUR (5) faz um estudo quantitativo das variações das propriedades da madeira segundo as direções de anisotropia e segundo a época de formação da madeira. Os autores descrevem como a microscopia por raio-X e a velocidade do ultrassom foram usadas para medir a densidade e a dureza do *Pinus Taeda*, nas direções longitudinal e radial. Os estudos foram feitos a partir de duas árvores, com 27 anos de idade, colhidas no Uruguai, em abril de 1992. As árvores apresentavam anéis relativamente espessos, o que facilitou as medidas ultrassônicas. Os resultados médios alcançados para as diversas propriedades estão no quadro que foi composto a partir dos dados colhidos na publicação.

TAB. 2.1- Propriedades da madeira do *Pinus Taeda* segundo a estação de formação

Propriedade	Direção	Madeira		Razão (1)/(2)
		outono-inverno	prima.-verão	
		(1)	(2)	
massa específica Kgf/m ³		696	327	2,1
dureza MPa	L	20013	6482	3,1
dureza MPa	T	1652	489	3,3
mod. elast. MPa	L	48000	8900	5,3
mod. elast. MPa	T	1700	260	6,5
mod. elast. MPa	R	4500	700	6,4

SZÜCS (22) elabora considerações sobre a situação das construções de madeira no Brasil, componentes culturais, tecnológicas e atitudes políticas que determinaram e ainda determinam o panorama do uso da madeira no país, bem como, atitudes que possam mudar o quadro.

Inúmeros gráficos e tabelas, extraídos de relatórios oficiais do extinto IBDF retratam a cobertura vegetal original dos 3 estados do sul do Brasil. Entretanto não se limitam a uma

situação estática, mostram a evolução do desmatamento e dos reflorestamentos ao longo do tempo. FONTES (11).

Finalmente houve a preocupação de fazer um levantamento da situação florestal em Santa Catarina. Dados importantes sobre cobertura florestal do estado, áreas reflorestadas, espécies de reflorestamento, consumo anual de madeira, destino da madeira, sua origem, políticas a serem adotadas, foram encontrados na FATMA (10).

2.3. A COLA

Em 1965, STUMBO confeccionou uma tabela do desenvolvimento histórico das colas e nela afirmou: "A arte de colar foi desenvolvida bem antes de os homens iniciarem a registrar a sua história." 4000 anos A C resinas e cimento betuminosos já estavam em uso. De 400 D C, até 1500, o uso das colas caiu em desuso, porém a partir dali, até 1700, houve uma retomada, provavelmente com colas de origem animal. Em 1754 foi concedida a primeira patente, na Inglaterra, para fabricar cola a partir de peixe. Por volta de 1800 surgiu a caseína, derivada do leite desnatado, misturado com pó mineral. Nos 100 anos seguintes surgiram diversas outras colas, entre elas as resinas fenólicas. Em 1937 surgiu a uréia-formol. A resorcina-fenol-formol, as polyuretanas e resinas de epóxi surgiram durante a segunda guerra mundial, KOLLMANN (13).

Atualmente as colas mais usadas para compor peças estruturais de madeira são:

Caseína

Uréa-formol

Resorcina-formol

Resorcina-fenol-formol.

As Condições gerais de uso e características foram resumidas por SZÜCS (21), na seguinte tabela:

TAB. 2.2- Principais colas com suas características

	CASEÍNA	URÉIA-FORMOL	RESORCINA-FORMOL
Durabilidade	No interior- não resiste à umidade e ao ataque de microorganismos. Empregar com $h \leq 18\%$	Resiste à umidade desde que não seja a temperatura elevada.	Resiste às intempéries e à água quente. A ser empregada sob todas as condições de utilização.
Apresentação	Pó branco - a ser misturados com água	Sob a forma de um xarope viscoso e endurecedor líquido ou em pó.	Resina líquida de cor marron e endurecedor sob forma de pó.
Período de estocagem	12 meses	xarope -3 a 6 meses pó - 1 a 2 anos	Resina - 12 meses pó - indefinidamente
Duração da mistura	7 horas	± 48 horas	3 a 9 horas
Temperatura de endurecimento	Temperatura ambiente	Temp. ambiente $\geq 10^{\circ}\text{C}$	20 a 100°C
Tempo de pressão	4 a 17 Kg/cm^2 ± 24 horas	7 a 11 Kg/cm^2 depende do endurecedor	7 a 10 Kg/cm^2 ± 16 horas
Quantidade necessária	350 a 500 g/m^2 dupla face	350 a 600 g/m^2 dupla face	350 a 500 g/m^2 dupla face
Período de estabilização	24 a 48 horas	± 7 dias	6 a 9 dias
Tipo de endurecimento	migração e evaporação da água	policondensação	policondensação
Utilização recomendada	Estruturas de interior- móveis- marcenaria interior- compensado, pode apresentar manchas na madeira	Estruturas de interior desde que em temperatura pouco elevada - compensados e aglomerados para uso interior	Todo tipo de emprego interior e exterior. Ideal para as estruturas de madeira laminada colada.

Segundo SZÜCS (21), a introdução do fenol, na resorcina-formol, deu origem à resorcina-fenol-formol, que é um pouco menos reativa, portanto exige maior tempo de pressão, ± 24 horas, mas é um produto mais barato. O fenômeno da adesão é bastante complexo. Há duas teorias que explicam o fenômeno, a teoria da adesão termodinâmica e a teoria da adesão específica. A primeira não se aplica às madeiras e a segunda se subdivide na teoria da adesão mecânica e da adesão química. No caso das madeiras a ligação é de origem química, em que oxidrilas livres da cadeia de celulose se ligam com oxidrilas livres da resorcina-formol, formando uma ponte de hidrogênio que passa a ligar as cadeias de celulose das faces dos aderentes.

De acordo com NEIVA(16), numa ligação adesiva tem-se 3 elementos colocados em cadeia, com duas interfaces formando os elos de ligação.

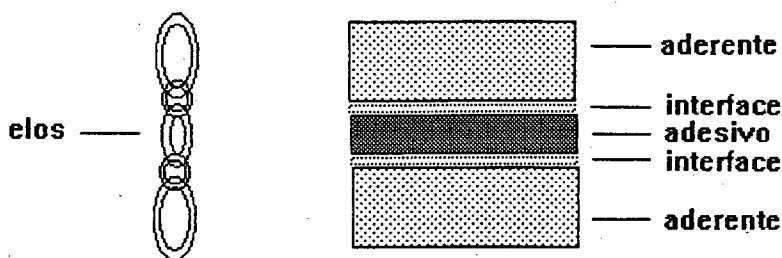


FIG. 2.1 - Componentes de uma junta de colagem

Se o adesivo tem a função de estabelecer uma ligação química entre os aderentes, então duas condições são fundamentais: que o adesivo ocupe toda a área a ser colada; que a película de adesivo seja a mais fina possível. Quanto mais fina, melhor será o desempenho da junta de colagem, porque:

- a) a ligação química é favorecida pela maior aproximação das cadeias de celulose;
- b) as tensões internas no adesivo serão menores;
- c) o efeito da diferença dos módulos de elasticidade dos materiais será minorado;
- d) menor será a probabilidade de incorporar bolhas de ar na ligação.

RIBEIRO(18) afirma que a possibilidade de alterar as características das colas, aditivando-as com substâncias diluentes e extensores, para obter formulações apropriadas para diferentes usos, já é fato conhecido. Pela adição de água diminui-se a viscosidade e se barateia o custo. Pela adição de extensores, como farinha de trigo ou casca de coco moída, se diminui o poder de penetração, conseqüentemente, aumenta-se o tempo em aberto, e se flexibiliza a junta de colagem.

2.4. A MADEIRA LAMINADA COLADA

2.4.1. O MATERIAL

De acordo com SZÜCS(21), entende-se por madeira laminada colada uma peça recomposta por lâminas (tábuas) coladas entre si com as fibras paralelas entre si. Normalmente estas peças são de grandes dimensões, se comparadas com as dimensões das lâminas que a compõem.

NEIVA(17) afirma que a primeira obra onde se usou a madeira laminada colada com fins estruturais data de 1893. Foram arcos usados num auditório de Basel, na Suíça. Em 1934 a madeira laminada colada foi usada na estrutura do edifício do Forest Products Laboratory, em Medison, EUA. A partir de 1930 começaram a surgir as primeiras normas sobre o assunto. Surgiu o American Institute of Timber Constructions(AITC), que publicou o Timber Construction Manual, em 1966. Outras instituições também publicaram normas, como:

A American Society for Testing Materials (ASTM)

A Canadian Standart Association (CSA)

Centre Technique du Bois et D'Ameublement (CTBA)

e a norma Suíça.

Conforme SZÜCS(21), todas estas normas estabelecem um limite superior para a espessura das lâminas usáveis na composição da madeira laminada colada, e todas diferem entre si. A norma canadense, CSA 0122 - 1953, limita a espessura da lâmina em 50mm. A norma

americana, MIL W.00151-64 B, limita a espessura a 20,5mm. A norma suiça, SIA, põe o limite de 20 a 25mm. O CTBA, na França, recomenda a seção máxima da tábua, de 60cm² para madeira com densidade de $\pm 0,5$ e 40cm² para madeira com densidade $\geq 0,7$. Já o próprio Prof. Dr. SZÜCS, recomenda o limite de 50mm, observando ainda as recomendações do CTBA.

2.4.2. O CUSTO

Conforme estudo recente feito por SZÜCS(23), onde se compara o custo de vigas de madeira laminada colada com vigas de aço e de concreto armado, a madeira laminada colada é um material competitivo. Neste estudo compararam-se os custos de vigas, variando o comprimento de 3m a 11m, com carregamento variando de 1000N a 5000N. O estudo abordou a condição isostática e hiperestática. Na condição isostática a madeira laminada colada sempre se revelou a solução mais econômica. Na condição hiperestática a madeira laminada colada só se tornou menos econômica para grandes vãos com grandes cargas. Considerando a relação R\$/Kgf de sobrecarga a madeira laminada colada sempre se revelou mais econômica que a solução em concreto armado.

2.5. A ESTATÍSTICA

Com respeito à estatística, indispensável à interpretação dos dados, fez-se uma revisão dos seguintes conceitos e métodos necessários, recorrendo a NANNI(15) e FRANCISCO(12):

conceito de frequência, FRANCISCO(12);
conceito de distribuição, FRANCISCO(12);
conceito de média, FRANCISCO(12);
conceito de desvio-padrão, FRANCISCO(12);
conceito de coeficiente de variação; FRANCISCO(12);
conceito de distribuição normal, FRANCISCO(12);
testes de normalidade de distribuição, NANNI(15);
análise de valores espúrios, NANNI(15);
comparação de médias, NANNI(15);

2.5.1. FREQUÊNCIA

Entende-se por frequência o número de vezes que um determinado valor ocorre, dentro de um grupo de valores, tomado como amostra. Normalmente a frequência é representada por f_i e a soma das frequências corresponde ao número de valores da amostra, n.

$$\sum_{i=1}^k f_i = n$$

Entende-se por frequência relativa como sendo a frequência que um valor teria, caso a amostra tivesse 100 valores. Normalmente é representada por p_i , e se obtém por:

$$p_i = \frac{f_i}{n} \text{ ou } p_i = \frac{f_i}{n} \times 100 \quad (2.1)$$

então:

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1 \text{ ou } \sum_{i=1}^k p_i = 100$$

Tanto a frequência, quanto frequência relativa podem ser acumuladas através de somatório. Se acumularmos todos os valores, teremos:

$$F_i = n \text{ (Frequência acumulada)}$$

$$P_i = 100 \text{ (Frequência relativa acumulada)}$$

2.5.2. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA

Certas amostras podem ter um número muito grande de valores. Se plotarmos sobre uma reta o maior valor e o menor valor, teremos um segmento de reta, que representa a amplitude da amostra. Dividindo este segmento em k partes iguais, teremos amostras menores, todas com a mesma amplitude, que podem ser chamadas de classes. Pode-se então verificar quantos valores da amostra se situam dentro de cada classe. O número de valores em cada classe é a frequência desta classe. Com as classes e suas respectivas frequências pode-se construir dois gráficos: o histograma e o polígono das frequências. No histograma, coloca-se as classes no eixo das abscissas e a frequência da classe nas ordenadas, obtendo um gráfico de barras. No polígono das frequências, plota-se o valor médio da classe no eixo das abscissas, e a frequência da classe, nas ordenadas. Ligando os pontos obtém-se um polígono.

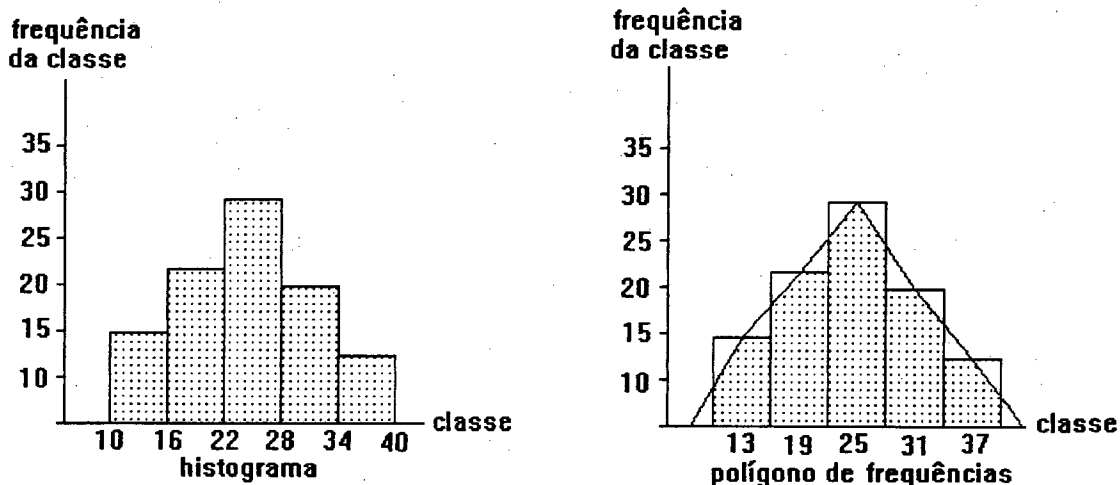


FIG. 2.2 - Gráficos que representam a distribuição de frequências

2.5.3. MÉDIA (\bar{x})

A média é uma medida de tendência central, ou medida de posição. A média é uma das medidas que representam a tendência de concentração dos dados observados. Pode ser calculada pela fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.2)$$

ou, quando os dados foram agrupados por classes, pela fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \times f_i}{n} \quad (2.3)$$

2.5.4. DESVIO-PADRÃO (S)

O desvio-padrão é uma medida que mede o grau de afastamento dos valores em relação a sua média. Assim um desvio-padrão grande indica grande dispersão dos dados em relação à média, com recíproca verdadeira. O desvio-padrão pode ser calculado pela fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

O “n - 1” pode ser substituído por “n” em amostras com mais de 25 dados. “n - 1” é o grau de liberdade, mas quanto maior o “n”, menor será a influência desta subtração da unidade, logo, para calcular o desvio-padrão da população se usa a fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.5)$$

2.5.5. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV)

O coeficiente de variação é a relação entre o desvio-padrão e a média. Pode ser expresso na forma decimal ou percentual e é calculado por:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \quad (2.6)$$

O coeficiente de variação é um desvio-padrão relativo, pois nada mais é que o desvio-padrão para o caso de a média ser igual a 100. Isto permite comparar as dispersões de valores com

unidades diferentes. Geralmente, se os dados de uma amostra tem um $CV \geq 25$, a qualidade desta amostra pode ser considerada duvidosa, no caso de produtos artificialmente elaborados. Como a madeira é um material de formação natural, um $CV \geq 25$ pode indicar que a natureza produz material com grande variação, sem que isto invalide a amostra.

2.5.6. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Voltando à figura 2.2, pode-se fazer as seguintes constatações: Se o tamanho da amostra fosse duplicado, as frequências das classes duplicariam também, e a área sob o polígono de frequências também duplicaria. Se porém, ao duplicar os dados da amostra, se reduzisse à metade a amplitude das classes, a área sob o polígono não se alteraria. Repetindo-se este procedimento “n” vezes, o polígono de frequências tende a uma curva de formato contínuo. Se esta curva for simétrica em relação a uma reta erguida sobre o valor da média, tem-se uma distribuição normal. Esta curva chama-se curva de Gauss, ou curva de sino, devido ao seu formato característico.

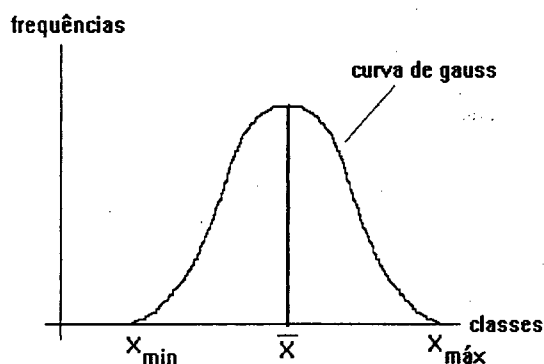


FIG. 2.3 - Gráfico característico da distribuição normal.

2.5.7. TESTES DE NORMALIDADE

Há diversas maneiras de testar uma distribuição, para concluir se a mesma é, ou não, normal:

- do coeficiente de assimetria - g_1 ;

- do gráfico no papel de probabilidades;

- do método do Qui-Quadrado;

- do método de Smirnov-Kolmogorov.

O método do papel de probabilidades apresenta certas dificuldades de ordem prática, no caso de se pretender usar o computador. O método do Qui-Quadrado não é recomendado para amostras com $n < 25$. Por isto não utilizamos estes métodos.

2.5.8. O COEFICIENTE DE ASSIMETRIA - g_1

O coeficiente g_1 é calculado pela fórmula:

$$g_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3 / n}{\left[\left(\frac{n-1}{n} \right)^{1/2} \times s \right]^3} \quad (2.7)$$

Numa distribuição perfeitamente normal, pela condição de simetria, teríamos $\sum (x_i - \bar{x}) = 0$, logo, à medida que uma distribuição se aproxima da normalidade, g_1 vai tendendo a ZERO. Dificilmente ocorre $g_1 = 0$, então deve haver um limite de aceitação de assimetria até onde se pode considerar uma distribuição normal. Este limite está tabelado, em função do número de dados e do nível de significância pretendido.

nível signif.	n									
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
1%	1,34	1,31	1,20	1,11	1,00	0,98	0,92	0,87	0,79	0,72
5%	1,05	0,92	0,84	0,79	0,71	0,66	0,62	0,59	0,53	0,49

Por exemplo, muitas das amostras deste trabalho terão $n = 36$. Num nível de significância de 5%, e usando $n = 35$, temos pela tabela que a mostra pode ser aceita como normal, se $g_1 \leq 0,62$.

2.5.9. TESTE DE SMIRNOV-KOLMOGOROV

Este é um método de grande potência e tem sua lógica baseada no seguinte: Se uma distribuição é normal, então há uma função que descreve esta distribuição, e se pode determinar a frequência acumulada esperada de cada valor. Calcula-se a frequência acumulada real de cada valor e se compara com a frequência acumulada esperada. Se esta diferença for menor que um valor tabelado, a normalidade pode ser aceita (12). A aplicação do método segue os seguintes passos:

- ordenam-se os dados em ordem crescente;
- calcula-se z_i

$$z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s}$$

- em tabela tira-se a frequência acumulada esperada (ϕ_i), em função de z_i

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	ϕ_i									
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

d) calcula-se a frequência esperada acumulada de cada valor.

$$P_i = \frac{i}{n}$$

e) calcula-se as diferenças entre as frequências acumuladas esperada e real.

$$DIF = |\phi_i - P_i|$$

f) escolhe-se o maior valor desta diferença e se compara com o valor tabelado $D_\alpha(n)$, onde α é o nível de confiabilidade adotado.

g) tira-se a conclusão:

se $DIF > D_\alpha(n)$, a hipótese da normalidade da amostra deve ser descartada;

se $DIF < D_\alpha(n)$, a hipótese da normalidade pode ser aceita

2.5.10. ANÁLISE DE VALOR ESPÚRIO

A análise visa identificar valores que se afastam demais da média, para ainda serem considerados da amostra. O método se baseia na comparação de resíduos. Entende-se por resíduo (r).

$$r = x_i - \bar{x}$$

e por resíduo padronizado (R_i)

$$R_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$$

Se o R_i de um dado valor for maior que o resíduo crítico tabelado, em função de “n” e “ α ”, então o valor é considerado espúrio e deve ser abandonado. “ α ” é o nível de confiabilidade adotado. A aplicação do método segue os seguintes passos:

a) ordenar os dados em ordem crescente;

b) selecionar o valor x_i mais afastado da média;

c) calcular o resíduo padronizado (R_i) do valor x_i ;

d) comparar o valor de R_i com o valor tabelado em função de “n” e “ α ”

n	níveis de confiabilidade		
	5%	2,5%	1%
:	:	:	:
3	1,15	1,15	1,15
4	1,46	1,48	1,49
:	:	:	:

e) concluir: se $R_i > \text{valor tabelado}$, então deve-se abandonar o valor x_i e repetir o processo.

2.5.11. COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE K GRUPOS

Este método permite determinar se num dado grupo de médias há, ou não, diferença significativa entre as mesmas. Não permite, contudo, identificar qual, ou quais, as médias que diferem significativamente. O método se aplica da seguinte forma:

a) somam-se os dados de cada amostra (t);

b) somam-se todos os dados (T);

c) verifica-se quantos dados tem cada amostra (n);

d) verifica-se quantos dados tem no total (N);

e) calcula-se a soma de todos os dados, elevados ao quadrado (X^2);

f) calcula-se, para cada amostra, o valor de $\frac{t^2}{n}$ e se somam estes valores calculados (S);

g) calcula-se $CT = \frac{T^2}{N}$

h) calcula-se

$$SQT \text{ (soma dos quadrados totais)} = X^2 - CT$$

$$SQR \text{ (soma dos quadrados dos resíduos)} = X^2 - S$$

$$SQG \text{ (soma dos quadrados dos grupos)} = S - CT$$

$$MQG \text{ (média dos quadrados dos grupos)} = \frac{SQG}{(K - 1)}$$

$$MQR \text{ (média dos quadrados dos resíduos)} = \frac{SRR}{(N - K)}$$

$$F = \frac{MQG}{MQR}$$

i) compara-se F com $F_{\alpha}(K-1;N-K)$ tabelado e se conclui: se $F < F_{\alpha}(K-1;N-K)$, então a hipótese da igualdade das médias pode ser aceita, caso contrário, há diferença significativa entre as médias.

N - K	K - 1					
	1	2	3	120
:	:	:	:	:	:	:
4	7,71	6,94	6,59			5,66
5	6,61	5,79	5,41			4,40
:	:	:	:	:	:	:

2.5.12. COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE DUNCAN

Este método toma uma dada média e a compara com as demais, tomadas uma a uma, concluindo se há, ou não, diferença. Portanto, só é utilizado se, pelo processo anterior, a igualdade das médias foi rejeitada. O processo consiste em:

- ordenar as médias em ordem crescente;
- calcular o desvio-padrão das médias ($S_{\bar{x}}$)

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n_h}}$$

$$S = \sqrt{MQR}$$

$$n_h = \frac{K}{\sum \frac{1}{n_i}}$$

- usando a tabela de STUDENTIZED RANGE acha-se um r_k para cada grupo, em função de $\alpha = 0,05$ e N-K.

- calcula-se um R_k para cada grupo

$$R_k = r_k \times S_{\bar{x}}$$

- compara-se os valores das diferenças das médias com os valores de R_k , da seguinte forma:

$$\begin{array}{ll} \bar{x}_k - \bar{x}_1 & \text{com } R_k \\ \bar{x}_k - \bar{x}_2 & \text{com } R_{k-1} \\ \bar{x}_k - \bar{x}_3 & \text{com } R_{k-2} \\ \vdots & \vdots \\ \bar{x}_{k-1} - \bar{x}_1 & \text{com } R_{k-1} \\ \bar{x}_{k-1} - \bar{x}_2 & \text{com } R_{k-2} \end{array}$$

Se a diferença entre as médias for maior que o R_k de comparação, então a diferença é considerada significativa.

2.6. CARGAS E ESFORÇOS

Segundo SILVA(24), há três tipos de flexão, a composta, a simples e a pura. A flexão é pura quando na seção da viga só existe momento fletor. É simples quando na seção atuam momento fletor e esforço cortante. Composta, se além destes, ainda atua o esforço axial. Pela norma brasileira, MB 26, 1940, o ensaio de flexão estática deve ser feito com o corpo de prova bi-apoiado sobre cilindros e aplicação de carga central. Com isto todas as seções do corpo de prova estão sujeitos à flexão simples, e os diagramas dos esforços são os seguintes:

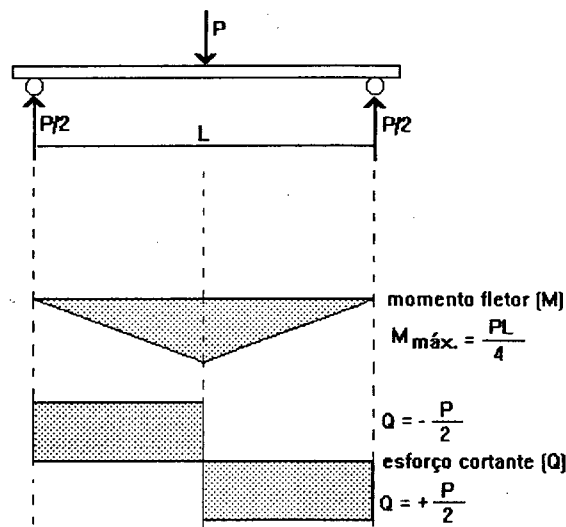


FIG. 2.4 - Diagramas dos esforços em viga bi-apoiada com carga central

A MB 26,1940, ainda diz que a resistência específica é calculada por

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2a^3} \quad (2.8)$$

onde:

a = aresta da seção transversal

P = carga de ruptura

L = comprimento entre apoios

Mas esta é uma fórmula particular para o caso de seção transversal quadrada. Quando a seção não for quadrada, como será o caso das vigas que serão ensaiadas, esta mesma fórmula assume o aspecto mais genérico, que consta em SILVA(24).

$$\sigma_f = \frac{M}{I} \times y \quad (2.9)$$

onde:

M = momento fletor

I = momento de inércia em relação à linha neutra

y = distância do ponto considerado até a linha neutra

A norma brasileira MB26, 1940, ainda estabelece o mesmo ensaio de flexão, porém com corpo de prova de dimensões diferentes, para determinação do módulo de elasticidade. Manda que, para o cálculo do módulo de elasticidade no limite de proporcionalidade, se use a fórmula:

$$E = \frac{L^3 P}{4 f b h^3} \quad (2.10)$$

onde:

L = vão entre apoios

P = carga aplicada

b = largura do corpo de prova

h = altura do corpo de prova

f = flecha no centro do vão

A norma francesa prescreve o ensaio de flexão a 4 pontos, com o corpo de prova bi-apoiado em rótulas, e a carga aplicada em dois pontos. A distância entre as cargas sendo igual a um terço do vão livre. Com isto tem-se os terços extremos sujeitos à flexão simples, e o terço médio sujeito à flexão pura com momento fletor constante, conforme mostram os diagramas dos esforços:

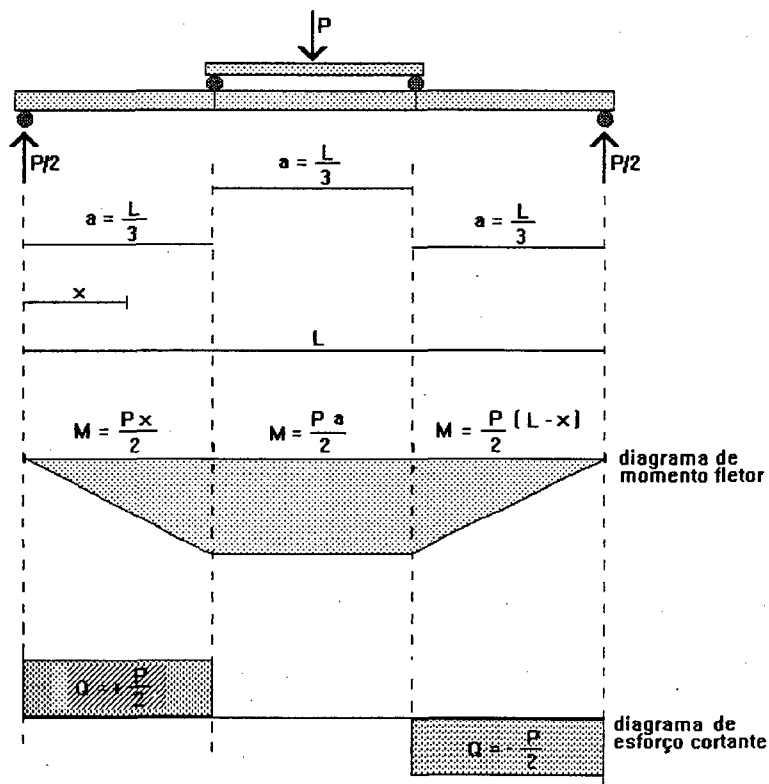


FIG. 2.5 - Diagramas dos esforços em vigas bi-apoiada com cargas aplicadas nos extremos de terço médio.

Segundo BODIG(2), a concepção geométrica das vigas tem influência na composição do valor do módulo de elasticidade. Parte provém devido ao momento fletor e parte é contribuição do esforço cortante. Numa viga submetida ao ensaio de flexão e em equilíbrio ocorre:

$$W_{ext} = W_{int} \quad (\text{PRINCÍPIO DE D'ALAMBERT})$$

onde

W_{ext} = trabalho realizado devido às cargas externas

W_{int} = trabalho realizado devido aos esforços internos.

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais na viga, chega-se à expressão desenvolvida por "MOHR", que é uma equação que representa o equilíbrio entre os trabalhos realizados pelas forças externas e o trabalho realizado pelos esforços internos.

$$P \times \delta = \int \frac{M' M dx}{EI} + \int \frac{N' N dx}{EI} + \int \frac{T' T dx}{DI_{TOR}} + \chi \int \frac{V' V dx}{GS}$$

onde:

P' = carga unitária auxiliar

δ = deslocamento (flecha)

M = momento fletor real

M' = momento fletor auxiliar

T = momento torçor real

T' = momento torçor auxiliar

N = esforço axial real

N' = esforço axial auxiliar

V = esforço cortante real

V' = esforço cortante auxiliar

E = módulo de elasticidade longitudinal

I = momento de inércia da seção transversal

G = módulo de elasticidade obtido do cisalhamento, que na seção retangular é $= E/16$

I_{tor} = momento de inércia da torção

S = seção transversal

χ = coeficiente que representa a distribuição da tensão de cisalhamento em função da geometria da seção transversal, que na seção retangular vale 1,2.

Aplicando a expressão de MOHR na condição de ensaio da norma francesa, chega-se a:

$$E = \frac{Pa}{4bd\delta} \left[\frac{3L^2 - 4a^2}{d^2} + 9,6 \right] \quad (2.11)$$

Esta expressão pode ser decomposta da seguinte maneira:

$$E = \frac{Pa (3 L^2 - 4 a^2)}{4b\delta d^3} + \frac{9,6Pa}{4bd\delta} \quad (2.12)$$

onde a primeira parcela corresponde à contribuição do momento fletor e a segunda, à contribuição do esforço cortante. Então:

$$E_m = \frac{Pa}{bd\delta} \times \frac{3 L^2 - 4 a^2}{4 d^2} \quad (2.13)$$

$$E_q = \frac{9,6Pa}{4bd\delta} \quad (2.14)$$

A contribuição do esforço cortante pode ser desprezada quando for menor que 5%, então , se

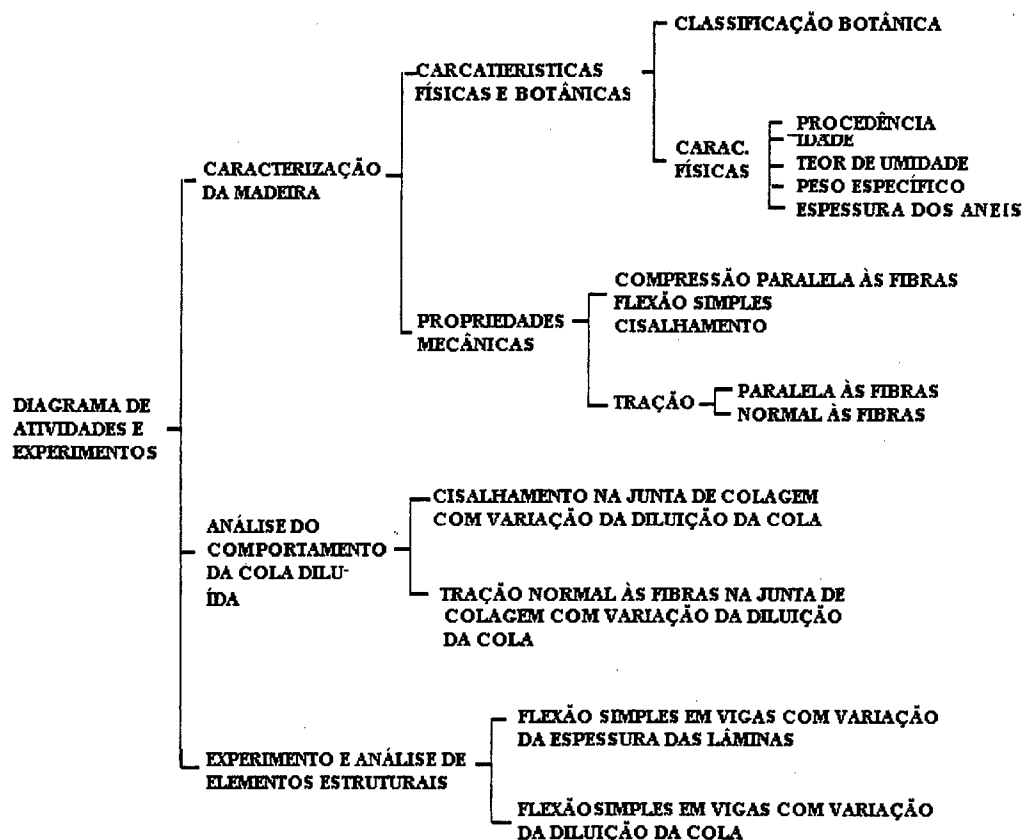
$$\frac{E_m}{E_m + E_q} \leq 0,95, \text{ pode-se desconsiderar Eq.}$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. INTRODUÇÃO

Baseado nos objetivos propostos, elaborou-se um programa de estudos e experimentos a serem executados, que ao final resultou num diagrama que serviu inclusive para fazer a previsão dos materiais necessários.

3.1.1 DIAGRAMA DAS ATIVIDADES



3.1.2 QUADRO RESUMO DOS EXPERIMENTOS

TIPO DE ANÁLISE	ENSAIO	DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA (mm)	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA
MATERIAL (Pinus eliottii pinus taeda)	TEOR DE UMIDADE E PESO ESPECIFICO	20 x 20 x 30	72
"	COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	20 x 20 x 30	72
"	FLEXÃO SIMPLES	20 x 20 x 400	72
"	CISALHAMENTO	20 x 40 x 250	72
"	TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS	20 x 50 x 410	72
"	TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS	40 x 68 x 70	72
"	CISALHAMENTO	50 x 50 x 760	72
MATERIAL COM VARIAÇÃO DE COLA	CISALHAMENTO	20 x 40 x 250	72
"	TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS	20 x 50 x 410	72
"	TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS	40 x 68 x 70	72
DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	FLEXÃO SIMPLES	100 x 150 x 2700	30
TOTAL			758

**3.2. IDENTIFICAÇÃO FÍSICA E BOTÂNICA DO PINUS TAEDA E
PINUS ELLIOTTII**

Tinha-se concebido originalmente obter amostras destas duas espécies, que procedessem de um mesmo local e que tivessem a mesma idade. Entretanto, como a madeira necessária foi toda obtida através de doação de uma mesma indústria, abriu-se mão desta exigência, pois isto afetaria toda a linha de produção da mesma. Então a madeira utilizada foi retirada de forma aleatória na linha de produção normal da indústria, havendo somente a separação por espécie. Assim, não há idade nem local de origem definidos para a madeira utilizada, entretanto sabe-se que toda ela provém de uma mesma região, ou seja do planalto do estado de Santa Catarina. Esta é também a realidade na indústria, que nem sempre conhece a idade e local de procedência da madeira. Portanto, houve uma aproximação com a realidade, o que é positivo.

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA

Não houve preocupação de entrar em pormenores na caracterização botânica dos Pinus Taeda e Pinus Elliottii, procurou-se tão somente localizá-los dentro do reino vegetal e verificar como esta localização afeta a estrutura anatômica e as propriedades mecânicas da madeira.

O reino vegetal está dividido em sete classes: Angiospermas, Gimnospermas, Pteridófitas, Briófitas, Algas, Fungos e Bactérias.

Cada classe se divide em diversas ordens. As ordens da classe das Gimnospermas são: Pteridospermas, Caitioniales, Cicadales, Nilsoniales, Benedिताes, Pentoxilales, Ginkgoales, Cordaitales, Coníferas, Taxales, Gnetales.

Cada ordem pode apresentar mais de uma família. As coníferas dividem-se nas seguintes famílias: Lebachíáceas, Voltziáceas, Cheirolepidáceas, Protopináceas, Pináceas, Taxodiáceas, Arpressáceas, Podocarpáceas, Cefalotoxáceas, Araucariáceas.

Cada família apresenta um grande número de espécies. Algumas das espécies da família das pineáceas:

- Pinus Silvestris (Pinheiro Selvagem)
- Pinus Pinaster (Pinheiro Marítimo)
- Pinus Palustris (Pinheiro-do-Sul)
- Pinus Pinea (Pinheiro Comum)
- Abies Balsâmica (Bálsamo-do-Canadá)
- Larix Decidua (Lariço)
- Cedrus Libani (Cedro do Líbano)
- Pinus Taeda
- Pinus Elliottii

Pode-se assim fazer a seguinte ficha para as espécies estudadas:

ESPÉCIE	PINUS TAEDA	PINUS ELLIOTTII
Família	Pineáceas	Pineáceas
Ordem	Coníferas	Coníferas
Classe	Gimnospermas	Gimnospermas

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

A madeira utilizada como material estrutural nas construções provém do tronco das árvores, por isto é esta parte da árvore cujas características anatômicas interessam, porque influem nas propriedades mecânicas e características físicas da madeira. O tronco desempenha três funções na vida das árvores, conduz a seiva,, armazena nutrientes e dá suporte físico.

Cada uma destas funções por sua vez é atendida por um tipo específico de células, e estas células diferem de acordo com a classe botânica a que pertence a árvore, angiospermas ou gimnospermas, como mostra o quadro:

FUNÇÃO	TIPO DE CÉLULA	
	ANGIOSPERMAS	GIMNOSPERMAS
Condução de seiva	Vasos condutores	Traqueídeos - de parede fina
Suporte	Fibras	Traqueídeos - de parede grossa
Armazenagem de nutrientes	Parênquimas	Parênquimas

Os vasos condutores formam dutos que vão da raiz às folhas e aparecem como pequenos poros no corte transversal. Nem sempre, mas às vezes, os dutos que se formam na primavera-verão são maiores que os que se formam no outono-inverno, o que determina o aspecto anelar da madeira. As fibras são células de formato acicular com paredes de espessura variável segundo as espécies. A espessura da parede determina o peso específico da madeira e, em grande parte, as propriedades físicas. Parênquimas são células pequenas de formato aproximadamente cúbico, que nas angiospermas às vezes se arranjam na posição radial, formando os raios medulares e conferindo um desenho característico no corte transversal. Traqueídeos são células alongadas, tubulares, de paredes delgadas e com uma grande cavidade interna. Suas paredes possuem válvulas chamadas ponteaduras que regulam o fluxo da seiva. Os traqueídeos formados na primavera-verão têm como função principal conduzir a seiva, já os traqueídeos formados no outono-inverno têm função de sustentação, por isso tem paredes grossas, dando com isto um aspecto anelar no corte transversal. Portanto cada ano se forma um anel de crescimento com duas bandas. A banda clara, formada na época de crescimento e com função de conduzir seiva, e a banda escura, formada na época de pouco crescimento, com função de sustentação.

Com o advento do microscópio eletrônico de varredura foi possível estudar tridimensionalmente a parede celular e se entender melhor a formação da madeira. A parede celular é formada por moléculas de celulose que se agregam em longas cadeias, formando verdadeiras cordas que se chamam microfibrilas e estão impregnadas de lignina e hemicelulose. Estas microfibrilas proporcionam a resistência à tração na madeira, enquanto a lignina lhe determina a dureza. Quando o câmbio forma uma nova célula, ela tem uma parede delgada com as microfibrilas dispostas caoticamente. Por dentro desta parede forma-se, pelo processo de crescimento, uma segunda parede. Esta segunda parede apresenta três camadas. Duas externas, delgadas e uma intermediária, grossa e com as microfibrilas alinhadas segundo a direção axial da árvore. As propriedades físicas e mecânicas da madeira dependem fundamentalmente desta camada intermediária (19).

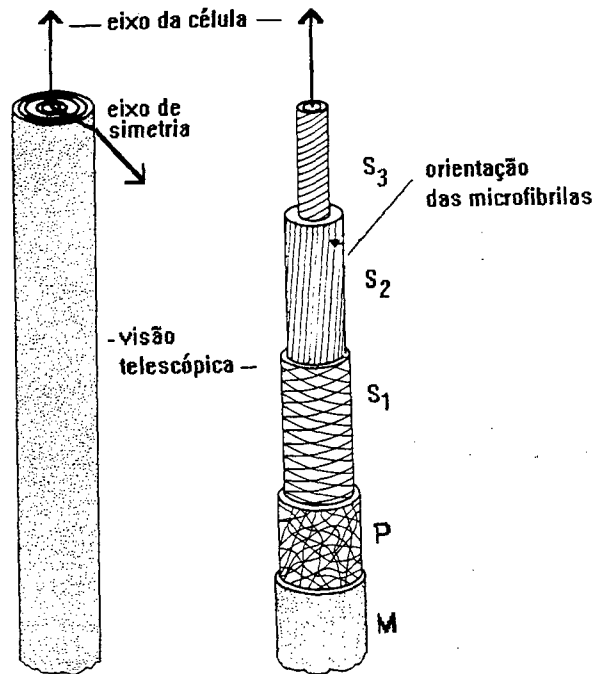


FIG. 3.1
 modelo da parede celular de um traqueídeo
 P = parede primária
 $S_1 + S_2 + S_3$ = parede secundária

(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

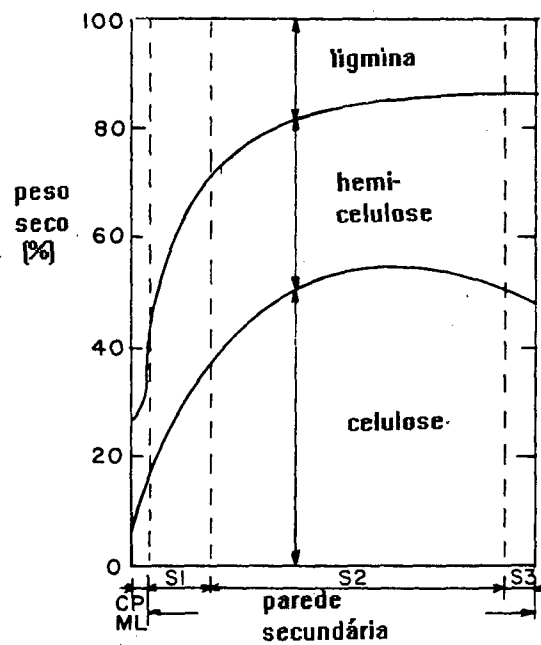


FIG. 3.2
 distribuição dos constituintes
 químicos na parede celular
 de um traqueídeo

(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

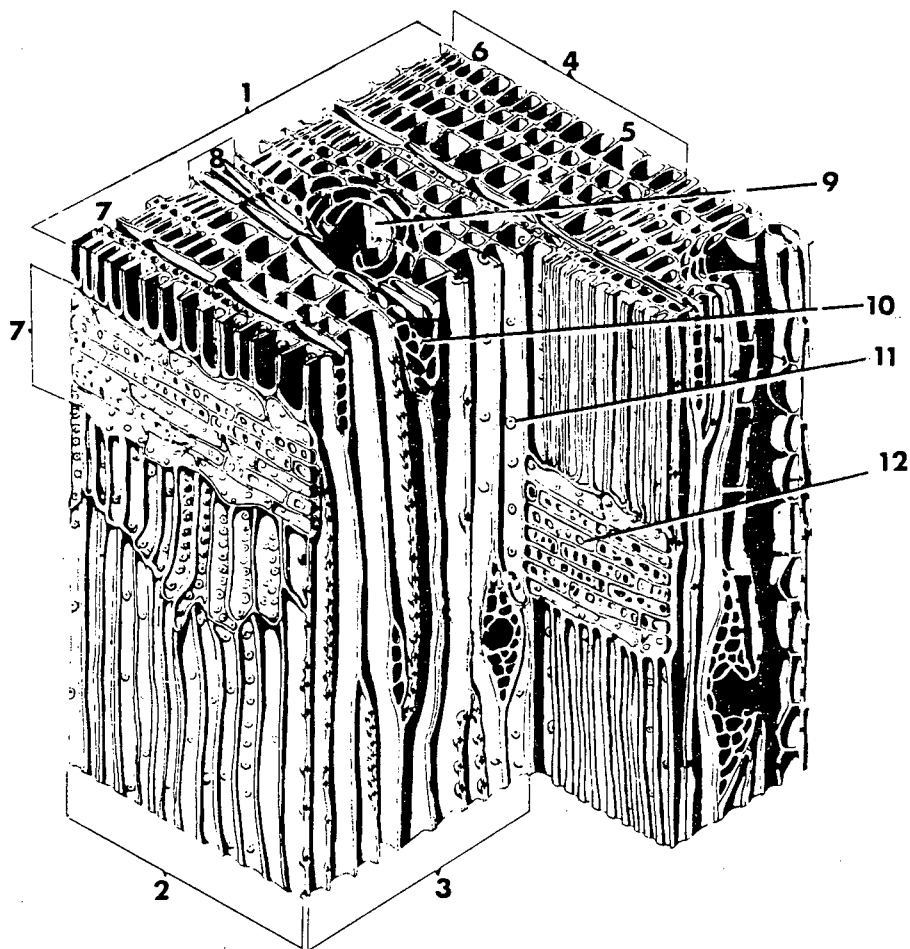


FIG. 3.3 -Estrutura celular de uma Gimnosperma.
(Extraído de: BODIG, Joseph, *Mechanics of wood and wood composites*)

- 1- seção transversal
- 2- seção radial
- 3- seção tangencial
- 4- anel de crescimento
- 5- madeira de primavera-verão
- 6- madeira de outono-inverno
- 7 - 8 - raios medulares
- 9 - 10 - condutos resiníferos
- 11 - 12 - ponteaduras

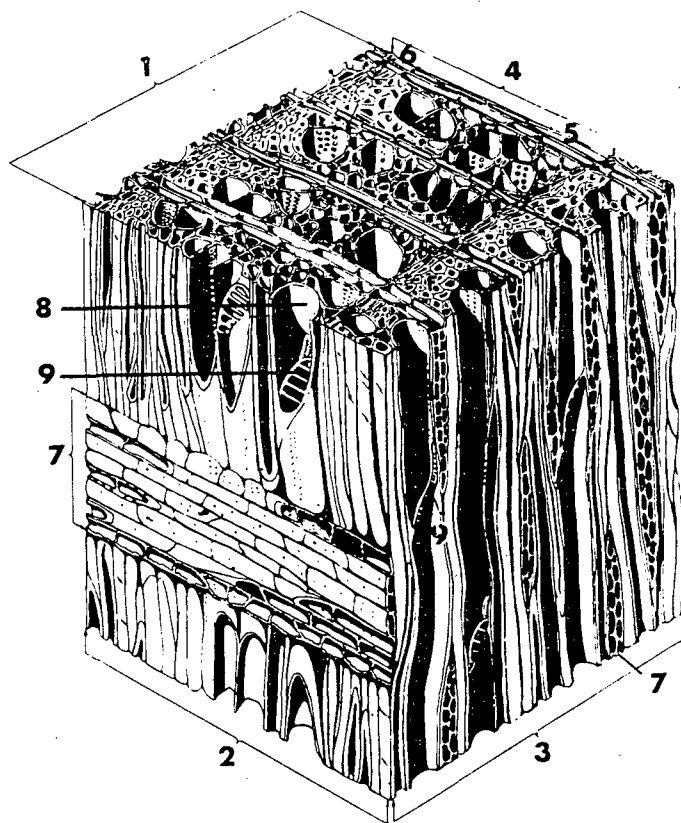


FIG. 3.4 -Estrutura celular de uma Angiosperma
(Extraído de: BODIG, Joseph, *Mechanics of wood and wood composites*)

- 1- seção transversal
- 2- seção radial
- 3- seção tangencial
- 4- anel de crescimento
- 5- madeira de primavera-verão
- 6- madeira de outono-inverno
- 7 - 8 - raios medulares
- 9 - 10 - condutos resiníferos
- 11 - 12 - ponteaduras

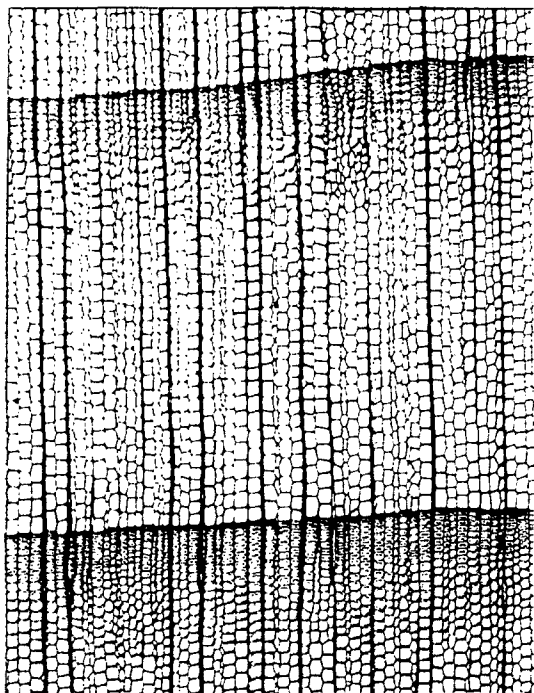


FIG. 3.5
Seção transversal de uma Gimnosperma
(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)



FIG. 3.6
Seção transversal de uma Angiosperma
não anelar (Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

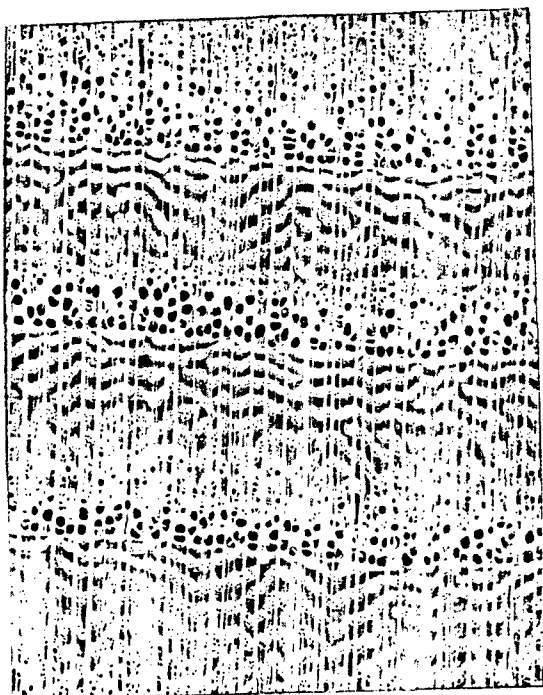


FIG. 3.7
Seção transversal de uma
Angiosperma anelar
(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

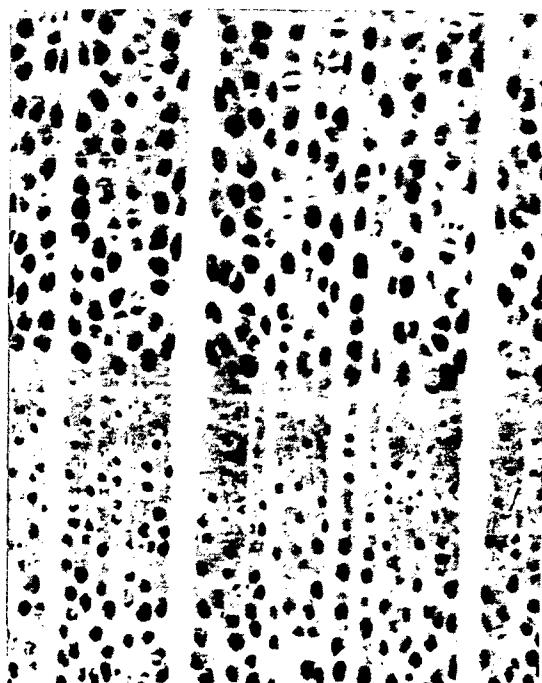


FIG. 3.8
Seção transversal de uma
Angiosperma semi-anelar
(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

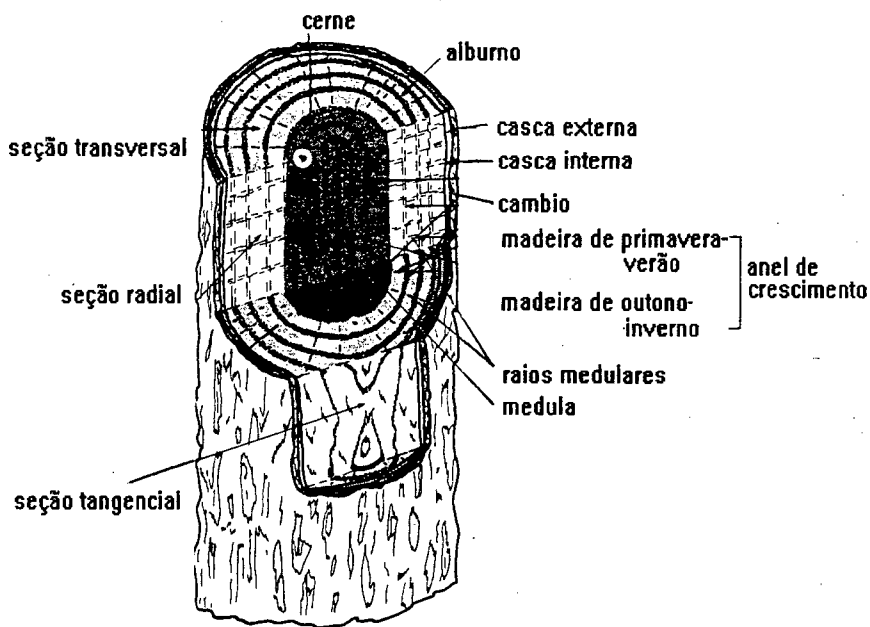


FIG. 3.9

ilustração da estrutura macroscópica do tronco

(Extraído de: BODIG, Jozsef, *Mechanics of wood and wood composites*)

3.3. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.3.1. TEOR DE UMIDADE

Equipamentos utilizados:

Balança de marca MARTE, modelo AM 5500, com sensibilidade de 0,01g.

Estufa de marca FANEM, modelo 315/8, com sensibilidade de 1°C, até 250°C.

Para determinar a umidade seguiu-se a metodologia estabelecida pela NBR 6230 (MB - 26). Foram selecionadas aleatoriamente seis amostras de cada espécie, *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii*. De cada amostra extraíram-se seis corpos de prova com dimensões de 20mm x 20mm x 30mm, obtendo-se assim 36 corpos de prova de cada espécie. Os corpos de prova foram pesados, para obter o peso úmido. A seguir, foram colocados na estufa e secados a 105°C, até atingiram constância de peso, e novamente pesados, para obter o peso seco. Para determinar a umidade utilizou-se a fórmula:

$$H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (3.1)$$

onde:

H = umidade (%)

Ph = peso úmido (g)

Ps = peso seco (g)

Obtidos os valores da umidade individual de cada corpo de prova, calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da umidade para cada espécie, utilizando as seguintes fórmulas:

média (2.2)

desvio padrão (2.4)

coeficiente de variação (2.6)

Obteve-se os seguintes resultados:

ESPÉCIE	PINUS TAEDA	PINUS ELLIOTTII
Menor valor	10,79	9,77
Maior valor	12,67	16,55
UMIDADE MÉDIA	11,76	13,93
Desvio padrão	0,43	1,60
Coeficiente de variação	3,70 %	11,50%

Os valores do peso úmido, peso seco e umidade individual dos corpos de prova encontram-se no ANEXO -1

3.3.2. MASSA ESPECÍFICA

Equipamentos utilizados:

Balança de marca MARTE, modelo AM 5500, com sensibilidade de 0,01g.

Paquímetro com precisão de 0,01mm.

Para determinar a massa específica aparente nas condições de umidade ambiente, foram utilizados os mesmos corpos de prova que foram utilizados para determinar a umidade, uma vez que os pesos dos mesmos já estavam determinados. Para obter o volume de cada corpo de prova mediram-se as quatro arestas em cada direção e se tirou a média. Obteve-se assim um comprimento médio, largura média e espessura média.

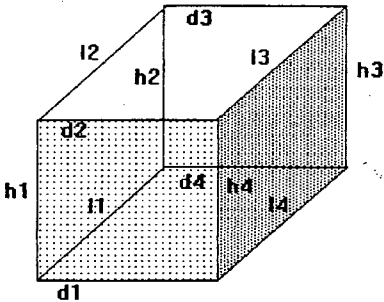


FIG. 3.10 Corpo de prova para determinação da massa específica

A média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a massa específica foram calculados pelas fórmulas:

Média (2.2)

Desvio padrão (2.4)

Coeficiente de variação (2.6)

Massa específica

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

onde:

P = peso

V = volume na umidade natural

Obteve-se os seguintes resultados:

ESPECIE	PINUS TAEDA	PINUS ELLIOTTII
Menor valor	0,366	0,409
Maior valor	0,557	0,592
MASSA ESP. MÉDIA	0,438	0,483
Desvio padrão	0,051	0,042
Coeficiente de variação	11,59%	8,77%

Os valores das dimensões medidas, o volume e a massa específica de cada corpo de prova constam no ANEXO -1

3.3.3 ESPESSURA DOS ANÉIS

Equipamentos utilizados:

Paquímetro com precisão de 0,05mm.

A medição dos anéis de crescimento foi realizada diretamente nas lâminas, na seção de topo. Mediu-se a espessura do anel na direção perpendicular ao anel e a uma distância de 3cm da medula, conforme prescrito pela Norma Panamericana (7). Esta média foi feita em 360 lâminas de Pinus Taeda e Pinus Elliottii.

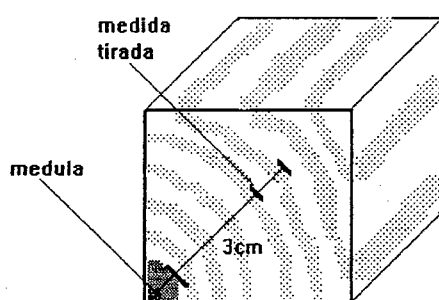


FIG. 3.11 Ilustração da medida dos anéis de crescimento

A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação foram calculados pelas fórmulas:

Média (2.2)

Desvio padrão (2.4)

Coeficiente de variação (2.6)

Obteve-se os seguintes resultados:

ESPESSURA DOS ANEIS DE CRESCIMENTO (espécie Pinus Taeda)	
Menor valor	4,00
Maior valor	19,00
ESPESSURA MÉDIA	9,76
Desvio padrão	2,74
Coeficiente de variação	28,10

4. ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

4.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA

Características dos equipamentos utilizados:

Cilindro hidráulico: marca WICKERS, modelo W30, com capacidade de 10ton.

Anel dinamométrico, com capacidade de 5ton e fator de 2,07 Kgf, para 0,001mm de deformação.

Relógio comparador: marca MITUTOYO, com sensibilidade de 0,001mm, até 5mm.

Para determinar a resistência à compressão paralela seguiu-se a metodologia estabelecida pela NBR 6230 (MB - 26). Foram selecionadas aleatoriamente seis amostras de cada espécie, Pinus Taeda e Pinus Elliottii. De cada amostra extraíram-se seis corpos de prova de 20mm x 20mm x 30mm, obtendo-se assim 36 corpos de prova de cada espécie. Os corpos de prova foram comprimidos até a ruptura, conforme ilustra a figura (FIG. 4.1), numa velocidade equivalente a aproximadamente 1 Mpa/min.

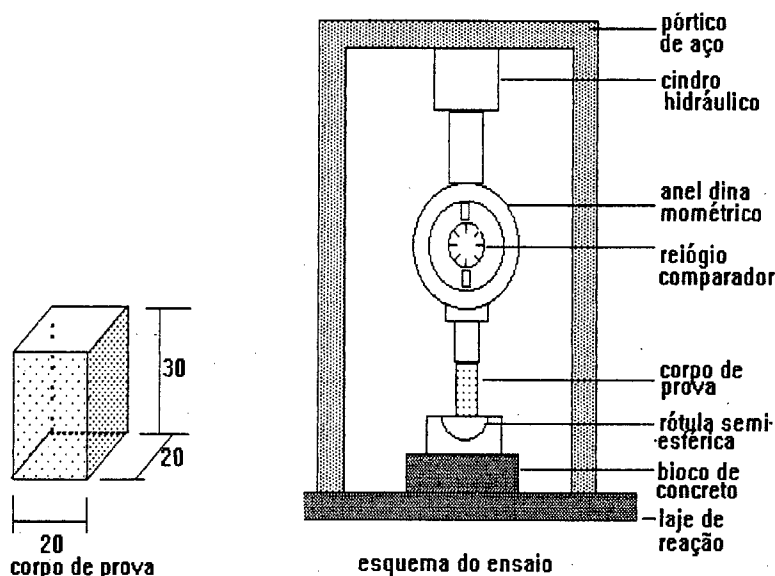


FIG. 4.1 Corpo de prova e esquema do ensaio de compressão paralela às fibras

As resistências de ruptura alcançadas por corpo de prova encontram-se no ANEXO - 2

4.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL

Características dos equipamentos utilizados:

Utilizaram-se os mesmos equipamentos do ensaio de compressão paralela, introduzindo-se, porém, um dispositivo mecânico que convertia a compressão em tração.

Para determinar a resistência à tração normal às fibras seguiu-se a metodologia estabelecida pela norma DIN 68141, por ela preconizar um corpo de prova com formato mais simples de

confeccionar e garantir melhor a normalidade da tensão. Foram selecionadas aleatoriamente 6 amostras de cada espécie, *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii*. De cada amostra extraíram-se 6 corpos de prova, obtendo-se assim 36 corpos de prova de cada espécie.

Os corpos de prova confeccionados no formato e dimensões da figura (FIG.4.2). Foram tracionados numa velocidade de aplicação de carga equivalente a aproximadamente 1MPa/min, até a ruptura.

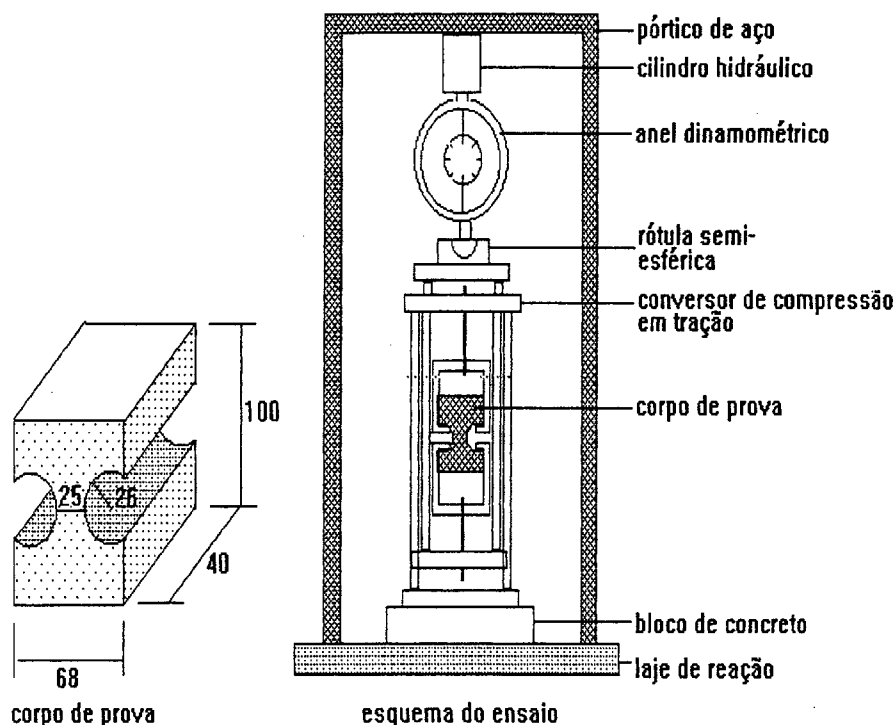


FIG. 4.2 - Corpo de prova e esquema do ensaio de tração normal às fibras

As resistências de ruptura para cada corpo de prova encontram-se no ANEXO - 2.

4.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA

Características dos equipamento utilizados:

Para a tração utilizou-se uma máquina de ensaios universais, marca WALPERT LESTER-AMSLER, tipo WERKSTOFFPRÜF MASCHINEN D-6700, com traçador gráfico.

Para determinar a resistência à tração paralela às fibras seguiu-se a metodologia estabelecida pela norma DIN 52188. Foram selecionadas aleatoriamente 6 amostras de cada espécie, *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii*. De cada amostra extraíram-se 6 corpos de prova, obtendo-se assim 36 corpos de prova por espécie. Os corpos de prova confeccionados no formato e dimensões da figura (FIG. 4.3) foram tracionados numa velocidade de aplicação de carga equivalente a aproximadamente 10MPa/min, até a ruptura.

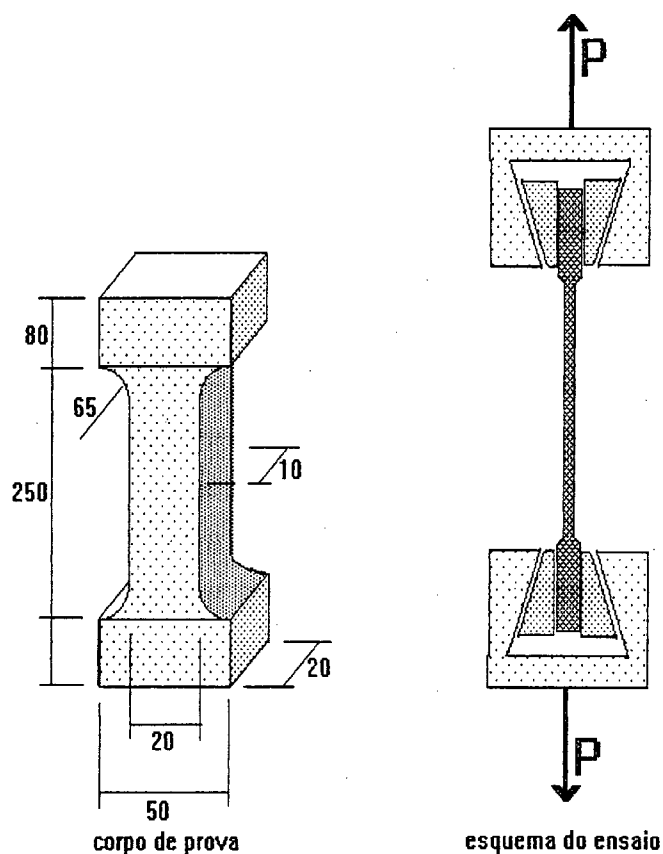


FIG. 4.3 Corpo de prova e esquema do ensaio de tração paralela às fibras

As resistências de ruptura para cada corpo de prova encontram-se no ANEXO - 2.

4.4. RESISTÊNCIA À FLEXÃO SIMPLES

Este ensaio foi realizado utilizando-se dois modelos de corpos de prova. De ambas as espécies, *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii*, retiraram-se 6 amostras aleatórias, e de cada amostra se confeccionaram 6 corpos de prova nas dimensões 20mm x 20mm x 400mm. Das mesmas amostras também confeccionaram-se 6 corpos de prova nas dimensões 50mm x 50mm x 760mm, seguindo a norma ASTM D - 143-52. Estes corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão simples a 4 pontos, até a ruptura, numa velocidade constante de aplicação de carga equivalente a aproximadamente 2MPa/min, conforme mostra a figura (FIG. 4.4).

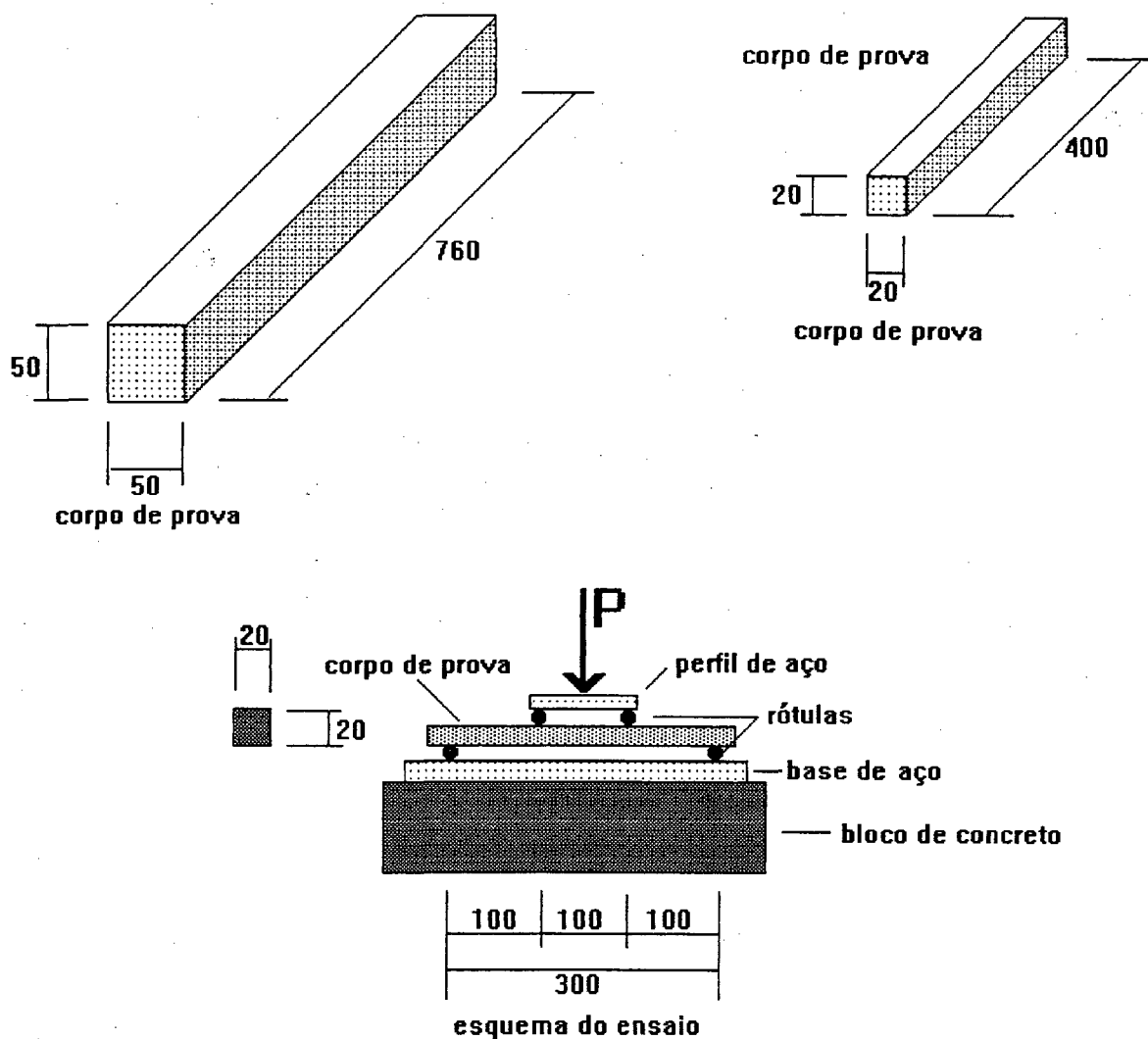


FIG. 4.4 Corpo de prova utilizado no ensaio de flexão simples e esquema do ensaio do corpo de prova de 20mm x 20mm x 400mm

A concepção do ensaio a 4 pontos, ao invés de 3 pontos, provém da norma francesa e se justifica pelo fato de a madeira ser um material não homogêneo e possuir ainda defeitos naturais que poderiam levar a madeira a se romper fora do ponto de momento máximo. Utilizando-se 4 pontos obtém-se uma região, no presente caso o terço médio, onde o momento fletor é constante e o esforço cortante é nulo, portanto a flexão é pura. Assim, desde que a ruptura ocorra nesta região do terço médio, sabe-se qual o momento que a levou à ruptura e sabe-se que o esforço cortante inexiste, conforme está exposto no item (2.6). Os corpos de prova de maiores dimensões permitiram adaptar relógios comparadores, conforme mostra a figura (FIG. 4.5). Tal procedimento permitiu medir a flecha enquanto se aplicava a carga e com ela determinar o módulo de elasticidade pela fórmula (2.12)

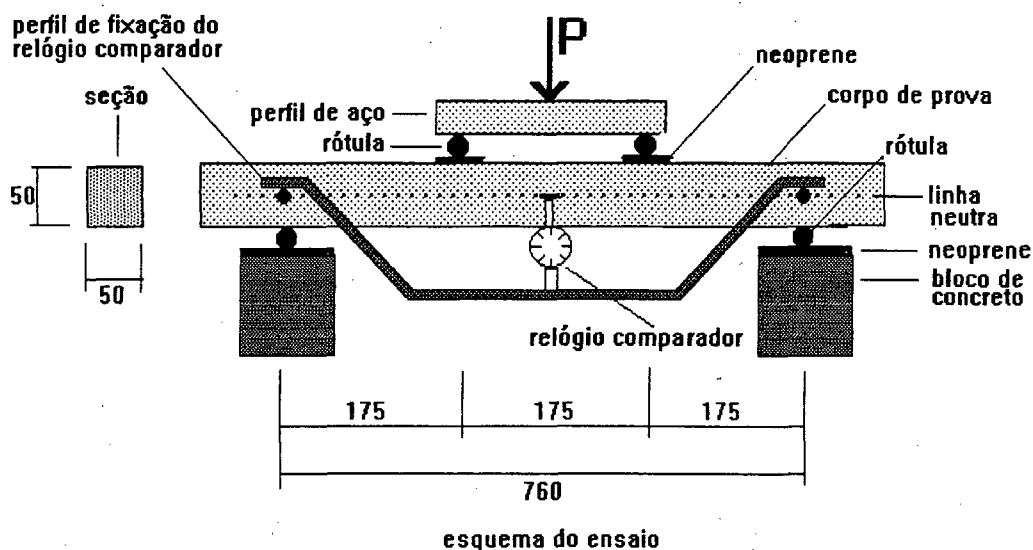


FIG. 4.5 Esquema do ensaio de flexão simples para corpos de prova de 50mm x 50mm x 760mm

Os resultados das tensões de ruptura e do módulo de elasticidade por corpo de prova encontra-se no ANEXO - 3

4.5 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Características dos equipamentos utilizados:

Cilindro hidráulico: marca WICKERS, modelo W30, com capacidade de 10ton.

Anel dinamométrico, com capacidade de 5ton e fator de 2,07 Kg, para 0,001mm de deformação.

Relógio comparador: marca MITUTOYO, com sensibilidade de 0,001mm, até 5mm.

Dispositivo mecânico que convertia o esforço de compressão em tração.

Para determinar a resistência ao cisalhamento seguiu-se a metodologia estabelecida pela Association Française de Normalization (AFNOR)-NF B5-32. Foram selecionadas aleatoriamente seis amostras de cada espécie, Pinus Taeda e Pinus Elliottii. De cada amostra extraíram-se seis corpos de prova, obtendo-se assim 36 corpos de prova de cada espécie com formato e dimensões conforme a figura (FIG. 4.6). Os corpos de prova foram tracionados com velocidade constante de aplicação de carga equivalente a aproximadamente 2 Mpa/min.

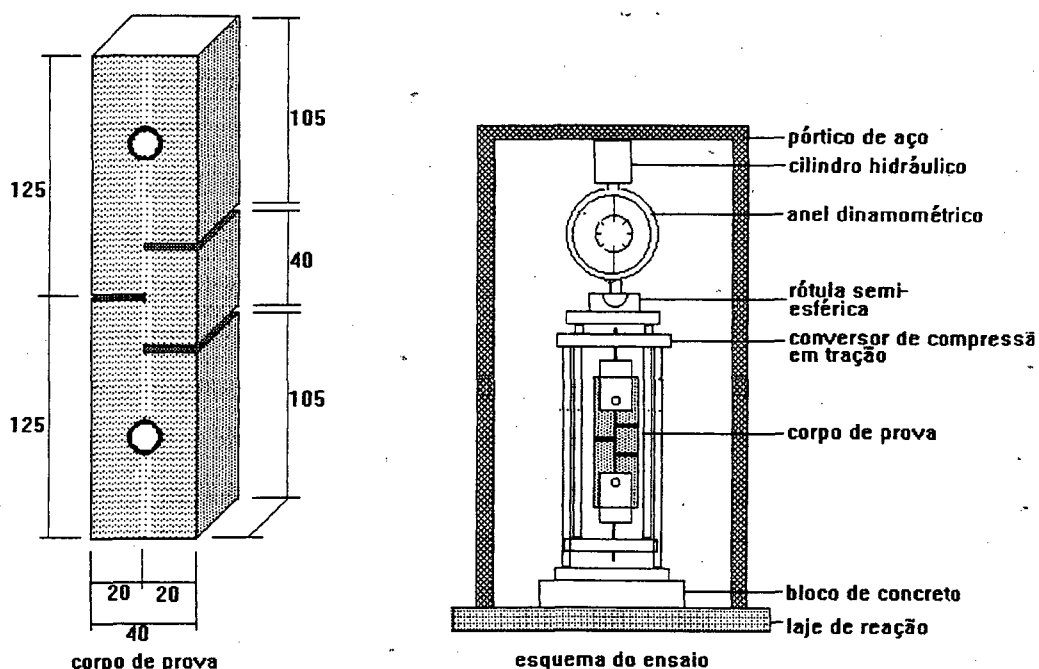


FIG. 4.6 Corpo de prova e esquema do ensaio de cisalhamento

As resistências de ruptura para cada corpo de prova constam no ANEXO - 2.

4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os dados de cada ensaio, tanto para o *Pinus Taeda* quanto para o *Pinus Elliottii*, foram submetidos a um tratamento estatístico de três etapas:

1º Teste de normalidade

A normalidade da distribuição dos dados foi testada através de dois processos:

O método de Smirnov-Kolmogorov, descrito no item (2.5.9)

Pelo cálculo do valor de G_1 , descrito no item (2.5.8)

2º Análise de valor espúrio

Em caso de se confirmar a normalidade da distribuição, por pelo menos um processo, procedeu-se a procura de valor espúrio pelo processo descrito no item (2.5.10) e se eliminaram os valores que se confirmaram com espúrios.

3º Cálculo dos coeficientes de dispersão

Com os dados devidamente espurgados dos valores espúrios, calculou-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação, pelas fórmulas (2.2), (2.4) e (2.6), respectivamente.

Tab.4.7- Resumo dos resultados dos ensaios dos corpos de prova da madeira

PINUS TAEDA				
propriedade	Res. Com - pressão	Res. Tração Normal	Res. Tração Paralela	Res. Cisa - lhamento
unidade	MPa	MPa	MPa	MPa
menor valor	21,372	1,187	22,159	3,622
maior valor	41,400	3,688	84,779	8,849
valor médio	28,393	2,430	53,042	5,522
des. padrão	5,278	0,666	19,729	1,215
coef. varia.	0,186	0,274	0,372	0,220

PINUS ELLIOTTH				
propriedade	Res. Com - pressão	Res. Tração Normal	Res. Tração Paralela	Res. Cisa - lhamento
unidade	MPa	MPa	MPa	MPa
menor valor	19,820	0,348	5,310	3,674
maior valor	45,798	5,018	58,828	10,194
valor médio	27,771	2,616	35,774	5,149
des. padrão	7,002	1,438	13,367	2,303
coef. varia.	0,252	0,550	0,374	0,447

propriedade	PINUS TAEDA			PINUS ELLIOTTH		
	Resistência à Flexão		Mód. Elas- ticidade	Resistência à Flexão		Mód. Elas- ticidade
	20 x 20 40	50 x 50 760		20 x 20 40	50 x 50 760	
unidade	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
menor valor	18,630	32,683	4977,303	27,168	18,312	3048,429
maior valor	88,492	93,067	10323,095	88,492	45,200	5870,417
valor médio	45,681	55,648	8241,438	54,360	31,885	4266,362
des. padrão	15,944	16,463	2428,833	14,154	6,579	878,099
coef. varia.	0,349	0,296	0,294	0,260	0,206	0,205

5. ESTUDO DA DILUIÇÃO DO ADESIVO

5.1. INTRODUÇÃO

A diluição da cola, como forma de baratear o produto, foi uma alternativa sugerida pela observação minuciosa na forma de ruptura ocorrida na linha de cola, quando submetida aos ensaios de cisalhamento e tração normal às fibras. Com efeito, por diversas vezes teve-se oportunidade de realizar estes ensaios em corpos de prova, extraídos de elementos de madeira laminada colada, onde a madeira empregada era o *Pinus Taeda*. Observando as fraturas ocorridas, notou-se que a ruptura raramente ocorria na linha de colagem, mas na madeira. Tal fato chamou a atenção e induziu a duas questões: Por que usar uma linha de colagem tão resistente, se quem se rompe é a madeira? Por que não se diluir a cola até as resistências da junta de cola e da madeira se tornarem compatíveis? Resolveu-se então proceder a um estudo, para determinar como e quanto se poderia diluir a cola, sem afetar o desempenho dos elementos fabricados com o *Pinus Taeda*.

5.2. METODOLOGIA

Para efetuar este estudo, foram realizados ensaios de tração normal às fibras, contendo junta de cola na seção crítica, e ensaios de cisalhamento na junta de cola. Analisaram-se estatisticamente os resultados dos ensaios. A partir desta análise, concluiu-se qual seria o diluente apropriado e qual seria o percentual de diluição admissível. Confeccionou-se então 8 vigas com o diluente mais apropriado, na percentagem da diluição admissível. Confeccionadas e ensaiadas as vigas, comparou-se então o desempenho desses elementos onde a diluição foi usada, com vigas idênticas onde não houve diluição.

5.3. DESCRIÇÃO DA CONFECCÃO E ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA E DAS VIGAS

5.3.1. CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA

Tanto os ensaios, quanto as dimensões e formato dos corpos do prova, foram idênticos aos utilizados na fase do estudo das propriedades mecânicas da madeira, descritos em (4.2) e (4.5), foi tão somente introduzida uma junta de cola na seção crítica.

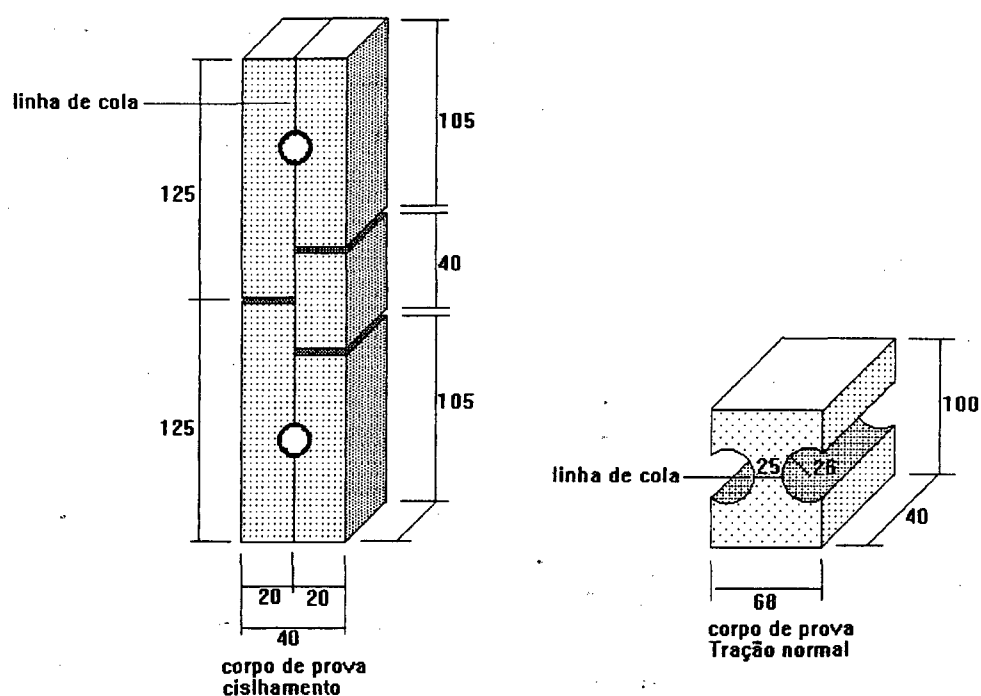


FIG. 5.1 Corpos de prova com linha de colagem, para ensaio de tração normal e ensaio de cisalhamento

Para estes ensaios, os corpos de prova foram confeccionados utilizando-se uma pressão de 0,8MPa, que foi mantida, através de cilindro hidráulico, durante aproximadamente 22 horas. Confeccionaram-se 11 amostras para cada ensaio, variando o teor de água e álcool usados como diluente, conforme mostra a tabela abaixo. De cada amostra foram extraídos 16 corpos de prova para cada ensaio. Assim, para cada ensaio, dipunha-se de 176 corpos de prova, variando a diluição para cada 16 corpos de prova

TAB. 5.1 - As amostras, o diluente, e respectiva percentagem usada na diluição da amostra

AMOSTRA	DILUENTE - %			ENSAIO -%	
	AGUA	ALCOOL	AG +AL	CISALHA	TRAÇÃO
1	10			X	X
2	20			X	X
3	30			X	X
4	40			X	X
5	50			X	X
6		10		X	X
7		20		X	X
8		30		X	X
9			10	X	X
10			20	X	X
11			30	X	X

Os resultados destes ensaios encontram-se no ANEXO - 4

5.3.2. CONFECCÃO DAS VIGAS

Equipamentos utilizados:

Balança: marca KRATOS, com capacidade de 15Kg e sensibilidade de 5g.

Macacos hidráulicos: marca BOVENAU, com capacidade de carga de 8ton.

Plaina: marca INVICTA, de uma face.

Trinchas de 1"

As vigas foram confeccionadas com lâminas de *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii*, com 20mm x 120mm x 2700mm, no teor de umidade natural, aproximadamente 12%. Utilizavam-se 8 lâminas para compor cada viga. A cola utilizada era resorcina-fenol-formol, conhecida comercialmente como CASCOPHEN - RS - 216 -M, misturada com o catalizador FM - 60 - M, ambos do lote 42130104, fornecida como doação pela Alba Química Indústria e Comércio. O processo de fabricação das vigas iniciava pela limpeza cuidadosa das lâminas com pano seco, retirando a poeira e eventuais fragmentos de madeira. Preparava-se a cola, considerando o consumo de 500g por metro quadrado de face colada. Na preparação da cola, a resina entrava com 80% do peso total e o catalisador com 20%, ou seja, em 100g de cola, 80g eram de resina e 20g eram catalisador. As duas partes eram misturadas manualmente até formarem uma mistura homogênea. A cola era passada manualmente, com auxílio de trincha, em ambas as faces das lâminas que seriam justapostas para formar uma linha de cola. Tão logo as faces estavam cobertas pela cola, se fechava a junta, pela justaposição das lâminas, já no dispositivo de prensagem. Todo este processo demorava em torno de 1min, que foi o tempo em aberto da cola, neste nosso processo de fabricação. Procedia-se assim até empilhar 2 ou 3 vigas no dispositivo de prensagem. Aplicava-se então uma pressão de 0,8MPa, através de 3 macacos hidráulicos e mantinha-se esta pressão por aproximadamente 22 horas. Passo seguinte, desmontava-se o dispositivo e retirava-se as vigas, que eram estocadas, por tempo não inferior a 7 dias, antes de serem aplainadas, numa plaina unifacial, para adquirirem faces regulares e seção constante de 100mm x 150mm.

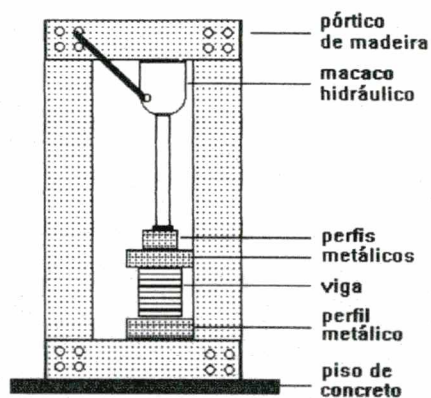
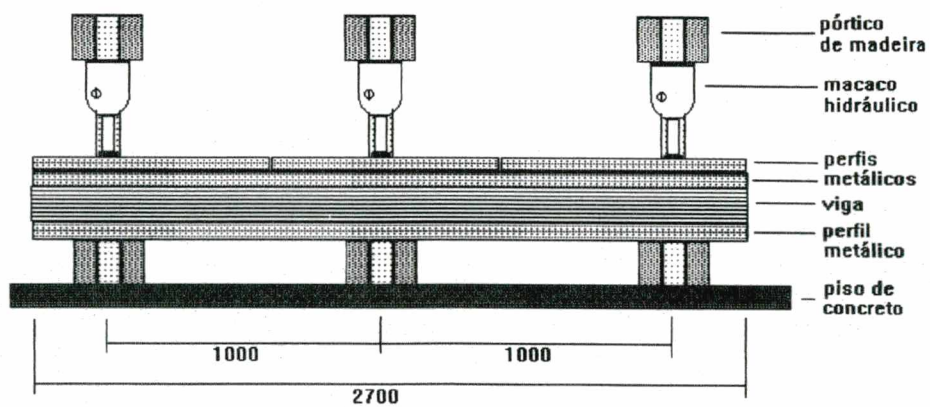


FIG. 5.2 Vista frontal e vista de perfil do dispositivo de prensagem das vigas

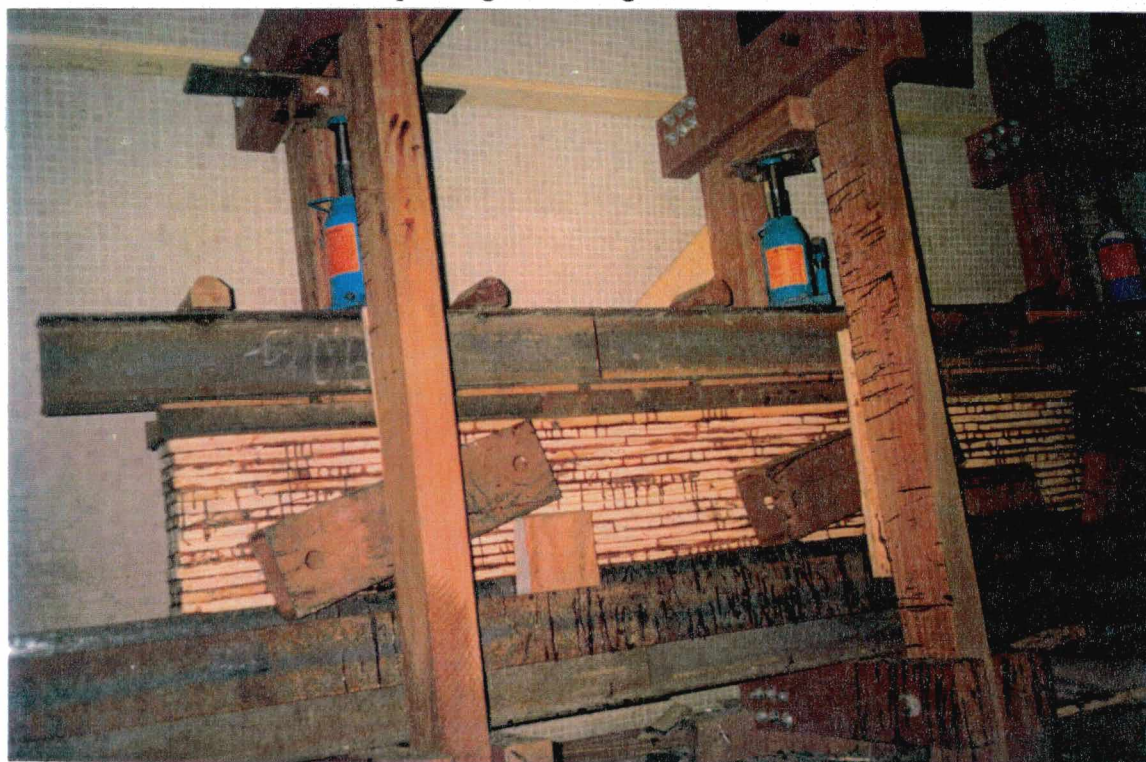


Foto 5.1- Ilustração do dispositivo de prensagem das vigas.

5.3.3. ENSAIO DAS VIGAS

Equipamentos utilizados:

Cilindro hidráulico: marca WICKERS, modelo W30, com capacidade de 10ton.

LVDT: com precisão de 0,01mm e curso de 3cm.

Microcomputador: PC 386.

Sistema de aquisição de dados: HP 3852-A.

Célula de carga: com capacidade de 50ton e sensibilidade de 10Kgf.

Rótula semi-esférica.

As vigas foram submetidas ao ensaio de flexão a 4 pontos , pelas justificativas descritas no item (4.4), com observação do comportamento mecânico até o momento da ruptura. O carregamento foi aplicado pelo cilindro hidráulico com acréscimo constante de carga. As leituras da carga foram feitas pela célula de carga, as flechas eram lidas pelos LVDTs, ambos, célula e LVDTs, ligados ao sistema de aquisição de dados acoplado ao microcomputador. Os LVDTs eram retirados antes da ruptura, para evitar danos de possível impacto. Portanto não se registrou a flecha até a ruptura. A velocidade de aplicação da carga foi equivalente a um acréscimo constante de aproximadamente 2MPa/min. Módulo de elasticidade foi calculado pela fórmula (2.11).

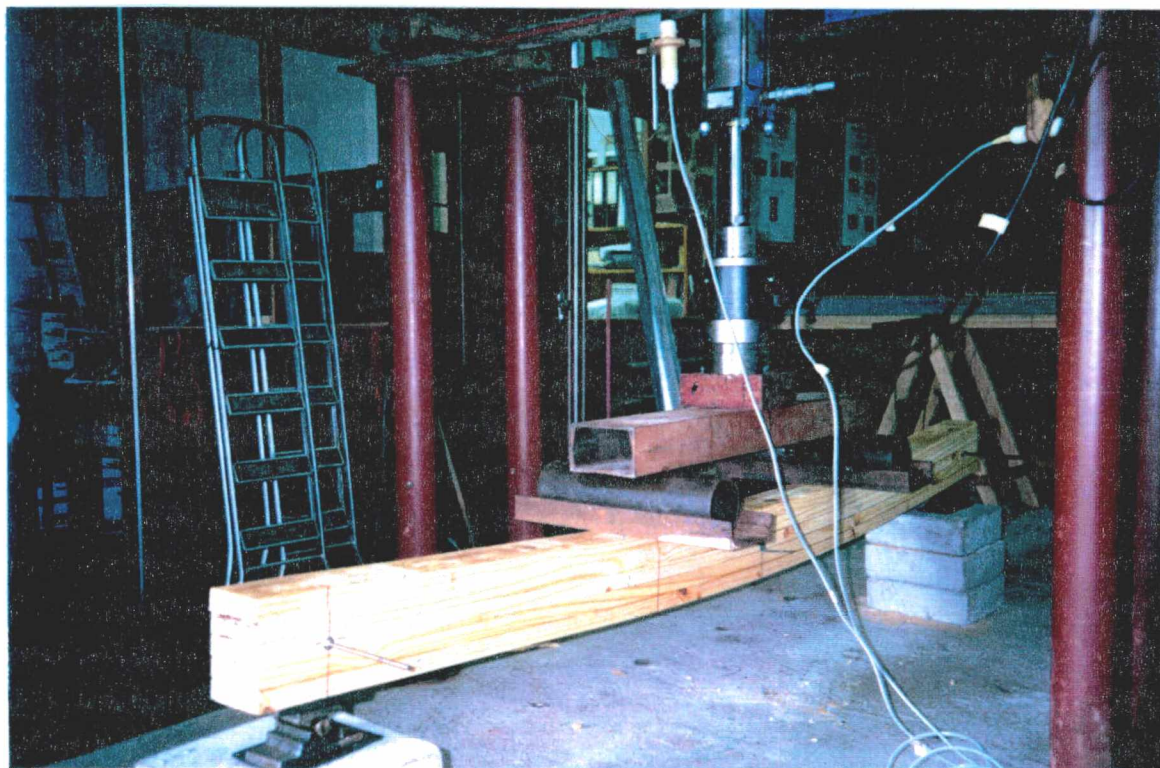


Foto 5.2.-Ilustração do ensaio de flexão a 4 pontos, das vigas

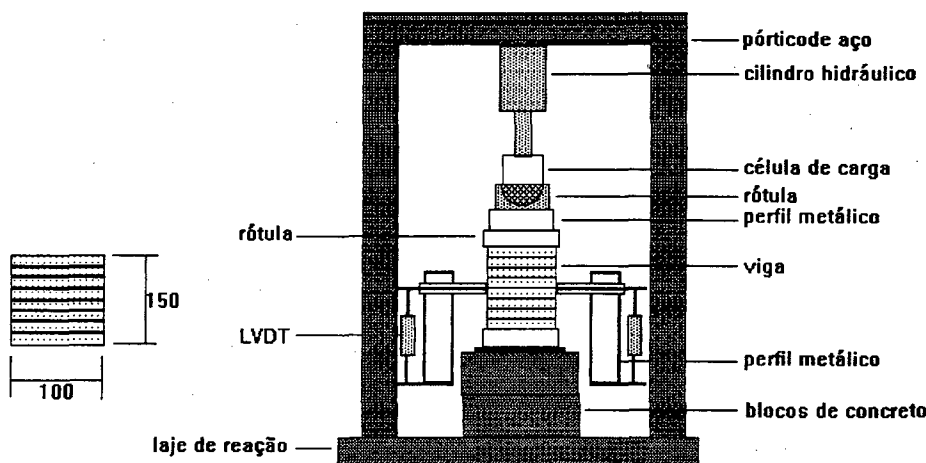
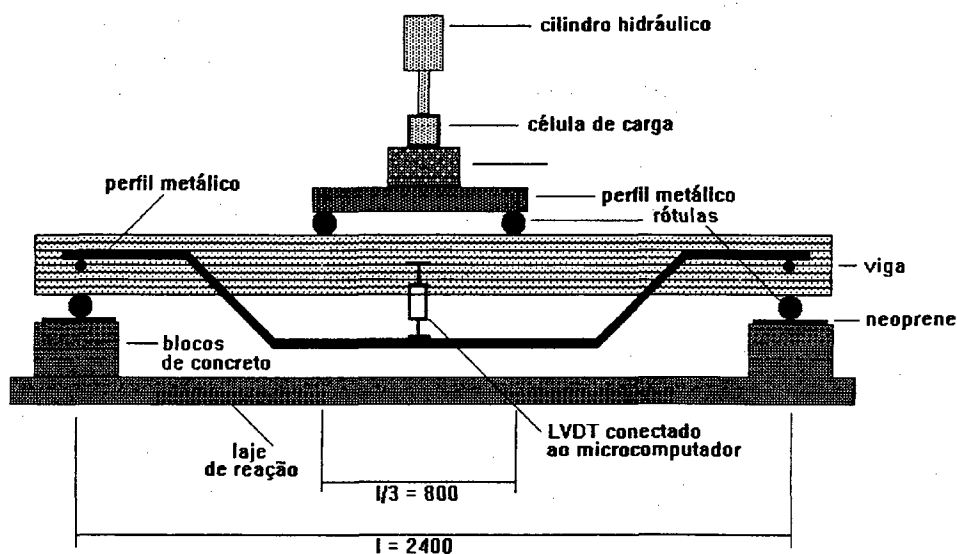


Fig. 5.3 Esquema do ensaio de flexão a 4 pontos das vigas

Os resultados dos ensaios encontram-se no ANEXO - 5

5.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA

O tratamento estatístico dos dados dos ensaios foi absolutamente idêntico, tanto para o ensaio de cisalhamento, quanto para o ensaio de tração normal, e teve por objetivos:

1º Verificar se o tipo de diluente exercia alguma influência significativa no resultado da média. Caso se verificasse esta hipótese, seria escolhido o diluente mais adequado. Caso não houvesse esta influência, seria escolhida a água, por ser mais barata.

2º Verificar qual o percentual de diluição admissível, para que, com 95% de confiabilidade, não houvesse diferença significativa na média da tensão de ruptura, quando comparada com vigas sem diluição da cola.

Para chegar a estas conclusões, os dados passaram pelo seguinte processo sucessivo:

1º Teste de normalidade

A normalidade da distribuição dos dados foi testada através de dois processos:

O método de Smirnov-Kolmogorov, descrito no item (2.5.9)

Pelo cálculo do valor de G1, descrito no item (2.5.8)

2º Análise de valor espúrio

Em caso de se confirmar a normalidade da distribuição, por pelo menos um processo, procedeu-se a procura de valor espúrio pelo processo descrito no item (2.5.10) e se eliminaram os valores que se confirmaram como espúrios.

3º Cálculo dos coeficientes de dispersão

Com os dados devidamente expurgados dos valores espúrios, calcula-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação, pelas fórmulas (2.2), (2.4) e (2.6) , respectivamente.

4º Comparação das médias dos resultados dos corpos de prova com o mesmo percentual de diluição, utilizando o método descrito em (2.5.11). Caso não haja diferença significativa entre as médias, ao nível de confiança de 95%, então se seleciona a água como diluente, por ser mais barata. Caso haja diferença, utilizar-se-á o método de Duncan, descrito no item (2.5.12), para verificar onde a diferença é menor, e se escolherá este diluente como o mais apropriado.

RESUMO DOS RESULTADOS DOS CORPOS DE PROVA

ENSAIO DE CISALHAMENTO					
DILUENTE USADO	ÁGUA				
Percentual, em peso	10	20	30	40	50
Número de corpos de prova	16	15	16	16	16
Menor valor	3,36	3,46	3,57	5,43	3,62
Maior valor	6,62	6,83	7,55	10,45	8,17
Média da resistência de ruptura	5,20	5,01	5,65	7,73	6,31
Desvio padrão	1,10	1,10	1,19	1,40	1,41
Coeficiente de variação	19,23	21,95	21,06	18,11	21,34
Distribuição normal	sim	não	sim	sim	sim
Número de valores espúrios	0	0	0	0	0

ENSAIO DE CISALHAMENTO			
DILUENTE USADO	ÁLCOOL		
Percentual, em peso	10	20	30
Número de corpos de prova	16	16	16
Menor valor	2,89	1,03	2,79
Maior valor	11,12	7,24	7,76
Média da resistência de ruptura	6,05	4,88	5,11
Desvio padrão	2,06	1,65	1,36
Coeficiente de variação	34,04	33,81	26,61
Distribuição normal	SIM	SIM	SIM
Número de valores espúrios	0	0	0

ENSAIO DE CISALHAMENTO			
DILUENTE USADO	ÁGUA(50%) + ÁLCOOL(50%)		
Percentual, em peso	10	20	30
Número de corpos de prova	16	16	16
Menor valor	3,26	2,32	1,81
Maior valor	7,65	7,03	7,76
Média da resistência de ruptura	5,54	4,89	4,61
Desvio padrão	1,21	1,40	1,79
Coeficiente de variação	21,84	29,16	38,82
Distribuição normal	SIM	SIM	SIM
Número de valores espúrios	0	0	0

ENSAIO DE CISALHAMENTO	
DILUENTE USADO	NENHUM
Número de corpos de prova	16
Menor valor	3,36
Maior valor	9,41
Média da resistência de ruptura	5,80
Desvio padrão	1,65
Coeficiente de variação	28,44
Distribuição normal	NÃO
Número de valores espúrios	0

ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL					
DILUENTE USADO	ÁGUA				
Percentual, em peso	10	20	30	40	50
Número de corpos de prova	16	16	16	16	16
Menor valor	3,88	3,51	6,21	4,76	4,76
Maior valor	10,60	7,86	12,42	7,76	10,86
Média da resistência de ruptura	7,81	5,26	9,45	6,38	7,45
Desvio padrão	1,81	1,45	1,94	0,83	1,77
Coeficiente de variação	23,17	27,50	20,53	13,00	23,75
Distribuição normal	sim	sim	sim	sim	sim
Número de valores espúrios	0	0	0	0	0

ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL			
DILUENTE USADO	ÁLCOOL		
Percentual, em peso	10	20	30
Número de corpos de prova	15	16	16
Menor valor	2,32	1,81	2,53
Maior valor	9,31	8,02	7,50
Média da resistência de ruptura	7,13	5,67	5,57
Desvio padrão	1,63	1,64	1,38
Coeficiente de variação	22,86	28,90	24,77
Distribuição normal	sim	não	sim
Número de valores espúrios	1	0	0

ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL			
DILUENTE USADO	ÁGUA(50%) + ÁLCOOL(50%)		
Percentual, em peso	10	20	30
Número de corpos de prova	16	15	16
Menor valor	10,24	3,62	3,88
Maior valor	15,83	12,42	7,14
Média da resistência de ruptura	12,11	8,71	4,95
Desvio padrão	1,64	1,92	0,96
Coeficiente de variação	13,50	22,04	19,39
Distribuição normal	não	sim	sim
Número de valores espúrios	0	1	0

ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL	
DILUENTE USADO	NENHUM
Número de corpos de prova	16
Menor valor	4,65
Maior valor	9,57
Média da resistência de ruptura	6,55
Desvio padrão	0,55
Coeficiente de variação	8,39
Distribuição normal	não
Número de valores espúrios	0

5.4.1. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS CORPOS DE PROVA

Fazendo a comparação entre os grupos com o mesmo percentual de diluição, pelo método descrito em (2.5.11), para os dois tipos de ensaio, elaborou-se as seguintes tabelas:

Pela tabela (5.2) constatou-se que, no ensaio de cisalhamento, o fato de usar diluentes diferentes, e em concentrações diferentes, não causou diferença significativa nas médias da ruptura. Portanto a escolha da água se revelou ser a melhor opção.

Pela tabela (5.3) constatou-se que, no ensaio de tração normal, o fato de usar diluentes diferentes, e em concentrações diferentes, causou diferença significativa nas médias. Nas concentrações de 10% e 20% o álcool teve melhor desempenho, porém com 30% a água teve desempenho nitidamente melhor. Em face a estes resultados, e pelo custo, optou-se pela escolha da água como diluente. Preparou-se então mais duas amostras de 16 corpos de prova, utilizando 40% e 50% de água na diluição, tanto para o ensaio de cisalhamento, como para a tração normal, conforme consta na tabela (5.1). Estas duas amostras adicionais foram confeccionadas porque as resistências à tração e ao cisalhamento, com 30% de água, ainda eram maiores que as resistências com cola pura. Estas duas amostras adicionais foram ensaiadas e tratadas semelhantemente às amostras anteriores.

Comparou-se então os resultados das resistências na ruptura das diversas diluições com as resistências de ruptura dos corpos com cola pura, pelo processo descrito no item (2.5.1), conforme consta nas tabelas (5.4) e (5.5).

Em ambos os ensaios as médias deram significativamente diferentes. O objetivo era determinar a partir de qual diluição que a média seria significativamente menor que a média da cola pura, isto não aconteceu, porque, em ambos os ensaios, a média com 50% de diluição ainda era maior que a média da cola pura. Então, em tese, poder-se-ia usar a diluição de 50%, ou maior, como sendo apropriada. Entretanto, não devendo um experimento prescindir da observação minuciosa dos fatos, constatou-se uma modificação nas fraturas, tanto no cisalhamento, quanto na tração normal. Com 30% de diluição, as fraturas apresentavam ainda o mesmo aspecto das fraturas sem diluição, ou seja, romperam predominantemente nas fibras da madeira. Com 40% de diluição, o aspecto da fratura modificou, romperam na junta de colagem com arrancamento de fibras em torno de 50% da área rompida. Com 50% de diluição, a fratura obteve novo aspecto, ocorreu predominantemente na junta de colagem, porém sem arrancamento de fibras. Estes 3 aspectos aparecem nitidamente nas fotos.



Foto 5.3.- Aspecto da fratura após ensaio de cisalhamento, usando 30% de água.



Foto 5.4.- Aspecto da fratura após ensaio de cisalhamento, usando 40% de água.



Foto 5.5.- Aspecto da fratura após ensaio de cisalhamento, usando 50% de água.

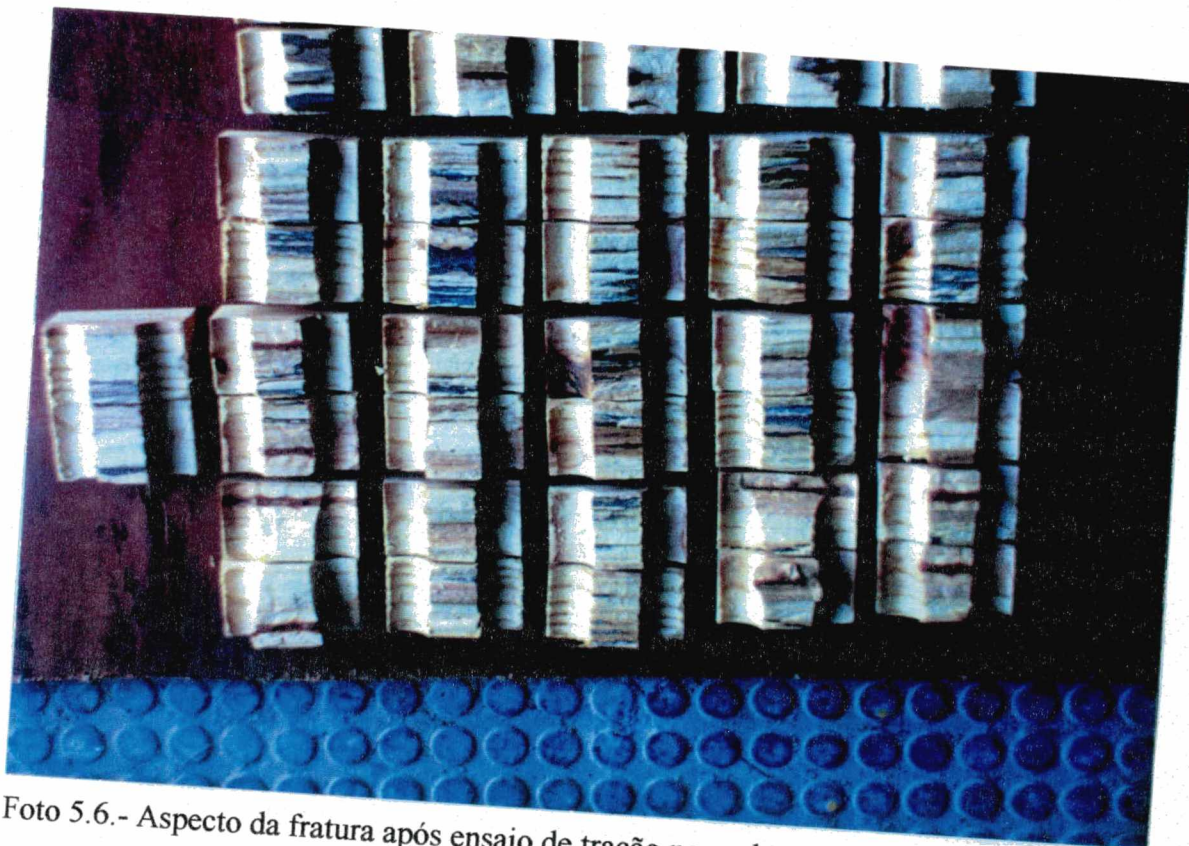


Foto 5.6.- Aspecto da fratura após ensaio de tração normal, usando 30% de água.



Foto 5.7.- Aspecto da fratura após ensaio de cisalhamento, usando 40% de água.

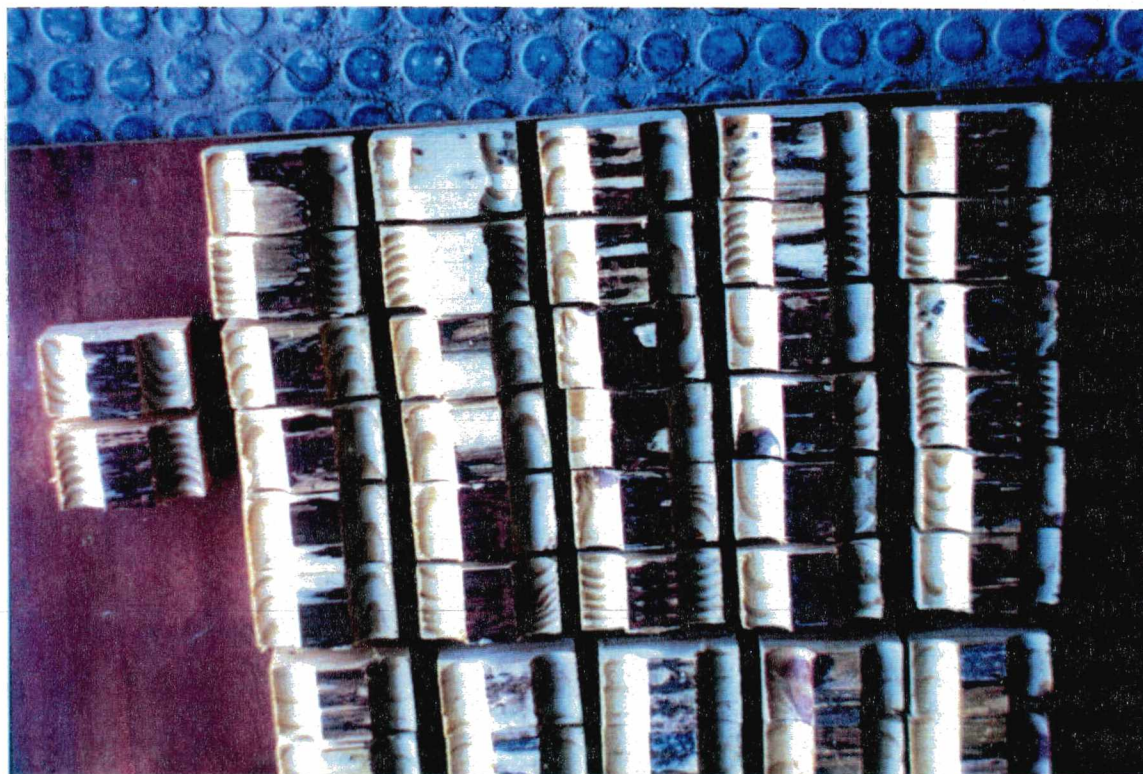


Foto 5.8.- Aspecto da fratura após ensaio de cisalhamento, usando 50% de água.

Portanto, apesar de os números das análises nos indicarem uma opção, a observação levou a conclusão de que, com 40% de diluição, as resistências da junta de colagem e da madeira estavam coerentes entre si.

ADOTOU-SE ENTÃO A DILUIÇÃO DE 40% COMO A IDEAL E COM ELA SE CONFECCIONARAM AS 8 VIGAS PARA ENSAIO E COMPARAÇÃO.

5.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DAS VIGAS.

Na realização do ensaio, para permitir uma acomodação dos apoios, aplicava-se uma carga de 2000N seguido de um alívio de carga até 400N, para então instalar os LVDTs. Como os LVDTs também necessitam de uma carga inicial, para entrar em regime regular de funcionamento, no tratamento dos dados, foram sistematicamente desprezadas as cargas até 2000N. Então no tratamento só foram computadas cargas acima de 2000N. O tratamento estatístico das vigas consistiu na comparação das médias, pelo processo descrito em (2.5.11), das vigas em que houve diluição da cola com 40% de água e as vigas onde a cola foi usada pura. Os quadros (5.6) e (5.7) mostram os resultados desta análise.

TAB. 5.2 - COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS DE MESMO PERCENTUAL DE DILUIÇÃO, UTILIZANDO O MÉTODO DE COMPARAÇÃO DE K GRUPOS, DESCRITO NO ITEM (2.5.11).

DORPO DE PROVA	ENSAIO DE CISALHAMENTO											
	GRUPO DOS 10%				GRUPO DOS 20%				GRUPO DOS 30%			
	AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.		AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.		AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.	
1	3.67	6.05	5.02		6.83	6.73	6.21		3.98	4.61	6.31	
2	6.62	3.47	4.40		5.54	6.93	5.28		3.88	4.92	4.76	
3	6.21	4.40	7.50		5.74	7.25	4.61		6.21	4.92	7.66	
4	6.16	5.95	7.76		6.83	4.61	4.35		4.86	4.45	7.50	
5	6.21	5.12	5.43		5.49	5.74	5.74		7.56	5.85	3.26	
6	3.36	2.90	6.05		6.00	5.28	7.04		6.31	4.71	6.31	
7	6.16	4.66	1.81		3.47	1.04	6.73		7.19	7.25	4.09	
8	4.92	4.66	2.38		5.12	5.28	6.57		6.31	4.24	6.11	
9	3.36	8.44	4.19		3.67	3.00	5.28		4.92	6.73	6.05	
10	4.40	7.66	4.66		4.30	2.33	3.98		5.64	7.76	5.64	
11	4.55	11.13	1.86		3.52	5.12	4.40		6.16	2.79	5.33	
12	5.07	6.47	3.11		4.45	4.50	2.33		6.42	6.16	5.54	
13	5.80	8.44	3.57		5.23	5.02	3.88		6.93	4.40	4.55	
14	4.86	5.90	4.30		5.54	4.76	3.98		5.38	5.18	6.11	
15	6.52	5.74	5.69		3.52	6.16	2.43		3.57	2.95	5.64	
16	5.33	5.90	6.05			4.40	5.43		5.07	4.86	3.83	
n	16	16	16	48	16	16	16	48	16	16	16	48
TOTAIS	83.21	96.88	73.80	253.89	75.24	78.14	78.25	231.63	90.41	81.77	88.70	260.87
MEDIAS	5.20	6.05	4.61	5.29	5.02	4.88	4.89	4.93	5.65	5.11	5.54	5.43
DESVIOS	1.11	2.07	1.80		1.70	1.66	1.41		1.20	1.37	1.22	
soma Xij =	1490.72				1231.23				1492.35			
CT =	1342.87				1117.79				1417.79			
total ² /n	432.79	586.56	340.36	1359.71	353.86	381.64	382.65	1118.15	510.84	417.84	491.73	1420.41
SQT =	147.84				113.44				74.56			
SQR =	131.01				113.08				71.94			
SQG =	16.83				0.36				2.62			
MQG =	8.42				0.18				1.31			
MQR =	2.91				2.51				1.60			
F =	2.89				0.07				0.82			
F0,05(2,45)	3.23				3.23				3.23			
	como F < F0,05(n1, n2) é aceita a hipótese da igualdade das médias				como F < F0,05(n1, n2) é aceita a hipótese da igualdade das médias				como F < F0,05(n1, n2) é aceita a hipótese da igualdade das médias			

TAB. 5.3 - COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS DE MESMO PERCENTUAL DE DILUIÇÃO, UTILIZANDO O MÉTODO DE COMPARAÇÃO DE K GRUPOS, DESCRITO NO ITEM (2.5.11).

DORPO DE PROVA	ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL											
	GRUPO DOS 10%				GRUPO DOS 20%				GRUPO DOS 30%			
	AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.	AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.	AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.	AGUA	ALCOOL	AGU + ALC.
1	3.21	6.33	2.57	1.93	4.97	2.44	4.97	1.61	2.28	4.97	1.61	2.28
2	3.02	5.42	2.86	1.90	3.31	2.28	3.11	2.38	2.84	3.11	2.38	2.84
3	2.86	4.45	3.31	1.76	2.65	1.39	4.35	2.48	1.76	4.35	2.48	1.76
4	2.96	4.45	2.86	3.00	3.37	2.38	4.10	2.86	2.07	4.10	2.86	2.07
5	3.93	5.88	3.42	1.41	4.31	2.90	4.14	1.55	1.45	4.14	1.55	1.45
6	1.55	4.10	2.73	2.59	3.93	0.72	4.72	1.74	2.69	4.72	1.74	2.69
7	4.24	4.91	2.57	2.86	3.68	1.55	4.97	1.97	3.00	4.97	1.97	3.00
8	1.80	4.55	3.64	1.41	3.42	2.92	2.90	2.24	2.90	2.90	2.24	2.90
9	3.79	4.51	3.73	3.15	3.39	1.45	3.62	1.59	2.57	3.62	1.59	2.57
10	2.73	4.24	2.59	2.57	3.68	2.48	4.39	1.95	2.50	4.39	1.95	2.50
11	3.21	5.22	2.53	1.49	4.02	2.48	3.31	1.55	1.84	3.31	1.55	1.84
12	4.04	5.22	3.06	1.51	2.90	2.69	3.77	2.21	2.48	3.77	2.21	2.48
13	3.42	4.14	3.21	2.30	3.89	2.48	2.48	2.17	2.28	2.48	2.17	2.28
14	2.79	4.55	3.21	1.97	3.52	3.21	2.90	1.61	1.01	2.90	1.61	1.01
15	3.29	5.34	2.44	2.24	3.31	2.38	3.77	2.03	1.76	3.77	2.03	1.76
16	3.15	4.24		1.66		2.57	3.04	1.76	2.26	3.04	1.76	2.26
n	16	16	15	16	15	16	16	16	16	16	16	16
TOTAIS	49.99	77.56	44.71	33.72	54.36	36.33	60.53	31.71	35.69	60.53	31.71	35.69
MEDIAS	3.12	4.85	2.98	2.11	3.62	2.27	3.78	1.98	2.23	3.78	1.98	2.23
DESVIOS	0.73	0.66	0.90	0.58	0.56	0.66	0.78	0.38	0.55	0.78	0.38	0.55
soma Xij =	682.37			366.56			387.35			387.35		
CT =	631.39			329.30			340.94			340.94		
total^2/n	665.47			350.54			371.42			371.42		
SQT =	50.98			37.26			46.41			46.41		
SQR=	16.91			16.02			15.93			15.93		
SQG=	34.08			21.24			30.48			30.48		
MQG=	17.04			10.62			15.24			15.24		
IMQR=	0.38			0.36			0.35			0.35		
F=	45.36			29.83			43.06			43.06		
F0,05(2,44)	3.23			3.23			3.23			3.23		
	como F> F(2 , 45), a igualdade entre as médias não pode ser aceita. Há diferença significativa.				como F> F(2 , 45), a igualdade entre as médias não pode ser aceita. Há diferença significativa.				como F> F(2 , 45), a igualdade entre as médias não pode ser aceita. Há diferença significativa.			

TAB 5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS, USANDO ÁGUA COMO DILUENTE, NAS PERCENTAGENS DE 10%, 20%, 30%, 40% e 50%																		
ENSAIO DE CISALHAMENTO																		
GRUPO	PURA			10%			20%			30%			40%			50%		
	Resist. Rup.	X	X^2	Resist. Rup.	X	X^2	Resist. Rup.	X	X^2	Resist. Rup.	X	X^2	Resist. Rup.	X	X^2	Resist. Rup.	X	X^2
	4.45	19.81		3.67	13.50		6.83	46.66		3.98	15.88		6.73	45.26		7.76	60.26	
	3.36	11.31		6.62	43.88		5.54	30.66		3.88	15.06		7.50	56.31		6.83	46.66	
	6.05	36.66		6.21	38.56		5.74	33.00		6.21	38.56		7.14	51.00		5.07	25.72	
	6.47	41.84		6.16	37.92		6.83	46.66		4.86	23.66		8.69	75.59		5.18	26.78	
	6.99	48.81		6.21	38.56		5.49	30.09		7.56	57.09		5.95	35.42		7.71	59.46	
	4.76	22.67		3.36	11.31		6.00	36.04		6.31	39.86		6.47	41.84		7.25	52.49	
	4.40	19.35		6.16	37.92		3.47	12.02		7.19	51.74		5.43	29.53		4.76	22.67	
	6.62	43.88		4.92	24.17		5.12	26.25		6.31	39.86		6.62	43.88		3.62	13.12	
	7.87	61.87		3.36	11.31		3.67	13.50		4.92	24.17		8.90	79.23		7.09	50.26	
	6.11	37.29		4.40	19.35		4.30	18.45		5.64	31.82		8.80	77.40		6.11	37.29	
	6.31	39.86		4.55	20.74		3.52	12.38		6.16	37.92		7.92	62.69		4.04	16.29	
	9.42	88.71		5.07	25.72		4.45	19.81		6.42	41.18		6.47	41.84		7.76	60.26	
	4.66	21.69		5.80	33.59		5.23	27.32		6.93	48.09		8.95	80.15		5.95	35.42	
	3.36	11.31		4.86	23.66		5.54	30.66		5.38	28.97		10.45	109.28		7.14	51.00	
	4.86	23.66		6.52	42.52		3.52	12.38		3.57	12.75		9.42	88.71		6.62	43.88	
MEDIA	7.14	51.00		5.33	28.41		5.02			5.07	25.72		8.28	68.56		8.18	66.86	
DESVIO	1.65			1.11			1.11			1.20			1.41			1.41		
n	16			16			15			16			16			16		95
soma Xi^2	579.73			451.15			395.88			532.33			123.73			668.41		3614.17
soma Xi	92.84			83.21			75.24			90.41			15310.16			101.07		566.51
(soma Xi)^2	8619.17			6924.57			5661.73			8173.47			956.89			10214.69		
(soma Xi)^2/n	538.70			432.79			377.45			510.84						638.42		3455.08
Som Xij^2	3614.17																	
CT	3378.22																	
som T.^2/nj	3455.08																	
SQT=	235.96																	
SQR=	159.09																	
SQG=	76.86																	
MQG=	8.54																	
MQR=	1.87																	
F=	4.56																	
F(9,85)=	2.04																	

COMO F > F(9,85), LOGO HA DIFERENÇA NAS MEDIAS
E SE DEVERIA APLICAR O METODO DE DUNCAN,
MAS COMO AS MEDIAS COM 40% E 50% DE DILUIÇÃO SÃO AS
MAIORES NAO HA NECESSIDADE DE APLICAR DUNCAN

**TAB 5.5 - COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS, USANDO ÁGUA COMO DILUENTE,
NAS PORCENTAGENS DE 10%, 20%, 30%, 40% e 50%**

ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL																		
GRUPO	PURA			10%			20%			30%			40%			50%		
	Ten. Rup.	X ²	X	Ten. Rup.	X ²	X	Ten. Rup.	X ²	X	Ten. Rup.	X ²	X	Ten. Rup.	X ²	X	Ten. Rup.	X ²	
	2.48	6.17		3.21	10.29		3.71	4.97	24.68	2.05	4.20		4.35	18.90				
	3.15	9.90		3.02	9.13		3.63	3.11	9.64	2.38	5.67		2.73	7.47				
	2.21	4.91		2.86	8.16		3.10	4.35	18.90	2.69	7.24		3.60	12.97				
	3.83	14.67		2.96	8.76		9.01	4.10	16.80	2.79	7.81		3.42	11.67				
	2.67	7.13		3.93	15.47		1.98	4.14	17.14	2.71	7.35		2.63	6.91				
	2.38	5.67		1.55	2.41		6.70	4.72	22.27	2.48	6.17		2.07	4.28				
	3.06	9.39		4.24	18.01		8.16	4.97	24.68	3.00	9.01		2.28	5.18				
	1.86	3.47		1.80	3.24		1.98	2.90	8.40	3.11	9.64		2.98	8.89				
	2.21	4.91		3.79	14.35		9.90	3.62	13.12	2.40	5.77		3.54	12.53				
	3.00	9.01		2.73	7.47		6.59	4.39	19.26	2.96	8.76		2.26	5.09				
	3.11	9.64		3.21	10.29		2.22	3.31	10.97	2.61	6.80		3.93	15.47				
	2.65	7.02		4.04	16.29		1.51	3.77	14.19	2.42	5.87		2.84	8.04				
	2.42	5.87		3.42	11.67		5.28	2.48	6.17	2.59	6.70		1.90	3.63				
	1.90	3.63		2.79	7.81		3.87	2.90	8.40	2.17	4.72		2.50	6.27				
	1.86	3.47		3.29	10.83		5.00	3.77	14.19	1.90	3.63		3.06	9.39				
	3.15	9.90		3.15	9.90		2.74	3.04	9.26	2.61	6.80		3.62	13.12				
MEDIA	2.62			3.12				3.78		2.56			2.98					
DESVIO	0.56			0.73				0.78		0.33			0.71					
n	16			16				16		16			16				96	
soma Xi ²		114.73			164.09		76.14		238.08		106.14			149.81			848.98	
soma Xi	41.96			48.99				60.53		40.88			47.71				274.79	
(soma Xi) ²	1760.55			2499.05				3653.49		1671.38			2276.58					
(somaXi) ² /n	110.03			156.19				228.97		104.46			142.29				813.01	
Som Xij ²	848.98																	
CT	786.57																	
somT.j ² /nj	813.01																	
SQT=	62.41																	
SQR=	35.97																	
SQG=	26.43																	
MQG=	2.94																	
MQR=	0.42																	
F=	7.02																	
F(9,86)=	2.04																	
COMO F > F(9,86), LOGO HA DIFERENÇA NAS MEDIAS E SE DEVERIA APLICAR O METODO DE DUNCAN,																		
MAS COMO A MÉDIA DE 50% É MAIOR QUE A A MÉDIA DA COLA PURA , NÃO HA NECESSIDADE																		

COMO F > F(9 ,86), LOGO HA DIFERENÇA NAS MEDIAS
E SE DEVERIA APLICAR O METODO DE DUNCAN,
MAS COMO A MÉDIA DE 50% É MAIOR QUE A A MÉDIA DA
COLA PURA , NÃO HA NECESSIDADE

TAB.5.6 - COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DE RUPTURA DAS VIGAS COM COLA PURA E COLA DILUÍDA COM 40% DE ÁGUA						
	COLA					
	PURA	DILUÍDA			X ^ 2	Y ^ 2
	MPa	MPa				
VIGAS	24.97	35.69			623.43	1273.76
2	33.18	41.75			1100.70	1743.30
3	33.18	27.56			1100.70	759.79
4	20.99	40.44			440.50	1635.00
5	30.72	38.71			943.46	1498.23
6	29.67	36.23			880.58	1312.95
7		25.46				648.08
8		42.46				1802.83
N=	6	8				
TOTAIS	172.70	288.30	461.00		5089.37	10673.94
MÉDIAS	28.78	36.04	64.82			
DESVIOS	4.87	6.37				
soma X_{ij}^2 =	15763.31					
CT =	15180.17					
soma T_{ij}/n_{ij} =	15360.59					
SQT =	583.14					
SQR =	402.72					
SQG =	180.42					
MQG =	180.42					
MQR =	33.56					
F =	5.38					
F _{0,05(1,12)} =	4,75					
Como $F > F_{0,05(1,12)}$, há diferença significativa entre as médias						

TAB. 5.7 - COMPARAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE REAIS MÉDIOS DAS VIGAS COM COLA PURA E COLA DILUÍDA COM 40% DE ÁGUA							
	COLA						
	PURA	DILUÍDA			X ^2	Y ^ 2	
	MPa	MPa					
VIGAS	7129.62	8513.50			50831472	72479758.3	
2	8933.77	11440.62			79812313.8	130887692	
3	8111.90	8520.37			65802926.1	72596641.6	
4	9636.54	12959.58			92862904.6	167950704	
5	7456.39	8947.72			55597785.6	80061671.6	
6	7370.36	7808.65			54322243.2	60974991.7	
7		9864.16				97301563.2	
8		11198.80				125413022	
N=	6	8					
TOTAIS	48638.59	79253.38	127891.97		399229645	807666045	1206895690
MÉDIAS	8106	9907	18013				
DESVIOS	994.41	1793.98					
soma X_{ij}^2 =	1206895690						
CT =	1168311194						
soma T_{ij}/n_{ij} =	1179422749						
SQT =	38584495.9						
SQR =	27472940.9						
SQG =	11111555						
MQG =	11111555						
MQR =	2289411.74						
F =	4.85						
F0,05(1,12)=	4,75						
Como F> F0,05(1 , 12), há diferença significativa entre as médias							

6. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS VIGAS

6.1. INTRODUÇÃO

Conforme descrito em (2.4.1), a espessura das lâminas recomendada para confeccionar elementos de madeira laminada colada varia de norma para norma. Chama atenção o fato desta variação ser grande, podendo chegar até a 100%, de uma norma para outra. Ora, a espessura das lâminas é o fator que determina o número de linhas de colagem num elemento de madeira laminada colada, conseqüentemente qualquer alteração neste valor influi diretamente sobre o consumo de cola e sobre o custo do produto. Como o objetivo geral proposto em (1.3) é a redução do custo da madeira laminada colada, através da redução de cola, este estudo se justifica.

6.2. METODOLOGIA

Para levar a efeito este estudo, confeccionaram-se 30 vigas de 100mm de espessura, por 2700mm de comprimento e 150 ou 160mm de altura, variando a espessura das lâminas de 10mm até 50mm. Com cada espessura de lâmina foram feitas 6 vigas. Estas vigas foram ensaiadas e feito um estudo comparativo dos resultados, com o fim de concluir, com 95% de confiabilidade, se a espessura das lâminas, dentro da variação estudada, acarreta alguma diferença significativa no desempenho mecânico das vigas.

6.3. A CONFEÇÃO DAS VIGAS

Para a confecção das vigas seguiu-se totalmente o procedimento descrito no item (5.3.2), quando se tratou do estudo da diluição da cola. Neste estudo, entretanto, a cola não foi diluída, a mesma foi utilizada pura e de acordo com as recomendações do fabricante.

6.4. O ENSAIO

O ensaio destas vigas em nada diferiu da metodologia descrita em (5.3.3), quando se tratou do estudo da diluição da cola, e os resultados encontram-se no ANEXO - 6

6.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Na realização do ensaio, para permitir uma acomodação dos apoios, aplicava-se uma carga de 2000N seguido de um alívio de carga até 400N, para então instalar os LVDTs. Como os LVDTs também necessitam de uma carga inicial, para entrar em regime regular de funcionamento, no tratamento dos dados, foram sistematicamente desprezadas as cargas até 2000N. Então no tratamento só foram computadas cargas acima de 2000N. O tratamento estatístico das vigas consistiu na comparação das médias, pelo processo descrito em (2.3.11), das vigas com diferentes espessuras de lâminas. Caso se verificasse diferença significativa, ainda se utilizaria o método de DUNCAN, descrito em (2.3.12), para identificar onde estas diferenças se localizam. A tabela (6.1) apresenta um resumo dos resultados alcançados. As tabelas (6.2) e (6.3) mostram os resultados das análises de comparação feitos através do processo do comparação de médias para K grupos. Não houve necessidade de usar o método de Duncan.

TAB. 6.1 - RESUMO DOS RESULTADOS DAS VIGAS, COM VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS LAMINAS E COLA PURA

VIGA	ESPESSURA DE 1cm			ESPESSURA DE 2cm			ESPESSURA DE 3cm			ESPESSURA DE 4cm			ESPESSURA DE 5cm		
	Resi. Rupt.	Mod. Elast.	MPa	Resi. Rupt.	Mod. Elast.	MPa	Resi. Rupt.	Mod. Elast.	MPa	Resi. Rupt.	Mod. Elast.	MPa	Resi. Rupt.	Mod. Elast.	MPa
1	23.56	9931.07		24.97	7129.62		6.54	8467.52		14.85	6652.24		13.80	5265.36	
2	18.76	6981.01		33.18	8933.77		24.19	9009.67		20.27	4958.91		32.16	8408.25	
3	10.51	14150.75		33.18	8111.90		26.05	7583.83		21.64	8836.14		46.17	8897.75	
4	24.84	8230.55		20.99	9636.54		26.60	10011.91		36.20	8809.40		19.23	9736.57	
5	12.36	8622.13		30.72	7456.39		27.83	9496.31		29.34	5466.47		31.41	7842.16	
6	36.69	12128.55		29.67	7370.36		25.03	9706.60		42.35	11559.45		28.31	11721.73	
n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
menor valor	10.51	6981.01		20.99	7129.62		6.54	7583.83		14.85	4958.91		13.80	5265.36	
maior valor	36.69	14150.75		33.18	9636.54		27.83	10011.91		42.35	11559.45		46.17	11721.73	
valor médio	21.12	10007		28.78	8106		22.71	9046		27.44	7714		28.51	8645	
desvio padrão	9.56	2679.84		4.87	994.41		8.02	899.56		10.45	2490.61		11.28	2137.49	
coef. de variação	45.26	26.78		16.91	12.27		35.31	9.94		38.10	32.29		39.56	24.72	

TAB. 6.3 - COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DE RUPTURA DAS VIGAS AGRUPADAS POR ESPESSURA DAS LAMINAS												
vigas	GRUPOS					X ^ 2	Y ^ 2	Z ^ 2	U ^ 2	V ^ 2		
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm							
1	23.56	24.97	6.54	14.85	13.80	555.02	623.43	42.83	220.39	190.46		
2	18.76	33.18	24.19	20.27	32.16	352.00	1100.70	585.16	410.99	1034.04		
3	10.51	33.18	26.05	21.64	46.17	110.56	1100.70	678.71	468.15	2131.56		
4	24.84	20.99	26.60	36.20	19.23	617.25	440.50	707.70	1310.45	369.86		
5	12.36	30.72	27.83	29.34	31.41	152.83	943.46	774.32	860.90	986.86		
6	36.69	29.67	25.03	42.35	28.31	1345.81	880.58	626.51	1793.90	801.26		
n	6	6	6	6	6							
soma	126.73	172.70	136.25	164.65	171.08	3133.47	5089.37	3415.22	5064.78	5514.05		22216.89
média	21.12	28.78	22.71	27.44	28.51							
soms X_{ij}^2	22216.89											
CT =	19835.45											
soma T_{ij}^2/n	20137.69											
SQT=	2381.44											
SQR=	2079.20											
SQG=	302.24											
MQG=	75.56											
MQR=	83.17											
F=	0.91											
$F_{0.05}(4,30)=$	2.92											
Como $F < F_{0.05}(4, 30)$, podemos aceitar com 95% de confiabilidade que não há diferença significativa entre as médias das tensões de ruptura												

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1. CONCLUSÕES

Analizados todos os dados, e registradas também as observações no decorrer da fase experimental, algumas constatações são possíveis:

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas diferem, mas são compatíveis com os dados tabelados para as mesmas espécies, porém oriundas de outras regiões. Especificamente com os dados apurados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

No estudo dos diluentes, verifica-se indiferença no uso da água ou do álcool, no caso do ensaio de cisalhamento. No ensaio de tração normal, os resultados não confirmam esta indiferença, porém, com 30% de diluição, a água é mais eficiente. Sendo assim, entre água e álcool, a opção pela água é a mais adequada, uma vez que é a mais barata. As diferentes diluições com água, variando de 10% até 50% de acréscimo de água, não acarretam diferença no ensaio de cisalhamento. Entretanto, no ensaio de tração normal, há diferença, porém para melhor. A observação visual do tipo de fratura ocorrida evidencia, em ambos os ensaios, cisalhamento e tração normal, um comportamento diferenciado. Até um acréscimo de 30% de água, as fraturas têm o mesmo aspecto das fraturas que ocorrem na cola pura. Com um acréscimo de 40% de água, as fraturas mudam de aspecto. Ocorrem na junta de colagem, com arrancamento de fibras de madeira em, aproximadamente, 50% da área. Com 50% de água, as fraturas tem novo aspecto. Ocorrem na junta de colagem, mas praticamente sem arrancar fibras. Conclui-se então que 40% de água é a diluição ideal.

Na confecção e ensaio das vigas com acréscimo de 40% de água na cola ocorrem três fatos:

- a) O consumo de cola por metro quadrado se manteve inalterado em relação à cola pura, entre 400 e 500 gramas por metro quadrado.
- b) Quando a cola fica em repouso, o catalisador se precipita, porque a viscosidade diminui. Portanto há necessidade de homogeneização periódica.
- c) O desempenho das vigas com cola diluída é melhor que o das vigas com cola pura. Este fato ocorre porque, com a cola diluída, o espalhamento é mais homogêneo. A película é mais delgada, o que favorece a natureza química da ligação e evita trincas na própria película.

No estudo da influência da espessura das lâminas no desempenho das vigas, os resultados da resistência de ruptura por flexão e módulo de elasticidade não sofrem influência quando as lâminas variam de 10mm até 50mm de espessura.

Pelo exposto, conclui-se então que:

UTILIZANDO O PINUS ELLIOTTH OU PINUS TAEDA ORIUNDOS DO PLANALTO CATARINENSE, E TOMANDO COMO PARÂMETROS, EXCLUSIVAMENTE, A RESISTÊNCIA À RUPTURA POR FLEXÃO E O MÓDULO DE ELASTICIDADE, É VIÁVEL DILUIR A COLA COM ATÉ 40% DE ÁGUA E VARIAR A ESPESSURA DAS LÂMINAS ATÉ 50mm, OBTENDO COM ISTO ECONOMIA NO CUSTO DA MADEIRA LAMINADA COLADA.

7.2. SUGESTÕES

Na conclusão está explícito que dois parâmetros foram estudados. Há outros igualmente importantes.

Na diluição sugere-se estudar o fenômeno da delaminação, para apurar a invariabilidade da junta de colagem face à intempéries.

No caso da variação da espessura das lâminas, pelos coeficientes de variação bastante elevados, sugere-se que se aprofunde o estudo através de amostras maiores.

Ambos os estudos, da variação da espessura das lâminas e da diluição, podem ser feitos para madeiras com características diferentes e se comparar os resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ABNT. **Ensaio físico e mecânico da madeira.** MB 26, 1940.
- 2 - ARRUDA, Humbert A. C., **Estudo teórico-experimental da influência do esforço cortante no módulo de elasticidade de vigas de madeira laminada colada.** Vº ENCONTRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Minas Gerais. Belo Horizonte, 1995. **Anais.** v. 1.
- 3 - ASTM 143-52, **Métodos normalizados de ensaio pequenos corpos de prova de madeira clara.** 1978.
- 4 - BODIG, Jozsef, JAYNE, Benjamin A. **Mechanics of wood and wood composites.** USA. New York: Van Nostrand Reinholds Company Inc. 1982. 712 p.
- 5 - BUCUR, V. HERBÉ, C. NOSEI, G. **Annual ring characteristics of pinus taeda measured by ultrasonic and X-ray techniques.** IAWA Journal, vol. 15(2). 1994. p. 121-132
- 6 - CTBA. CAHIER DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT. **Le collage du bois.** C. 109. 2a. ed. 1983.
- 7 - COPANT. **Maderas aserradas y cepilladas. Metodo de medicion de los defectos.** 746. CDU 674. Mayo de 1975
- 8 - DIN 68141, **Holzverbindungen; prüfung von Leimen und Leimverbindungen für tragende Holzbauteile, Gütebedingungen.**
- 9 - DIN 52188, **Prüfung von Holz.**
- 10 - FATMA, Fundação do Meio Ambiente. **Perfil e estratégias.** Santa Catarina. Florianópolis, 1992.
- 11 - FONTES, Paulo Prudente de. **O governo e a floresta no Brasil.** In: VALORIZAÇÃO INDUSTRIAL DA MADEIRA, 1986, Santa Catarina. Florianópolis. Imprensa Universitária. p. 30 -98.
- 12 - FRANCISCO, Walter. **Estatística básica.** Editora Unimep. Piracicaba. São Paulo. 1993
- 13 - KOLLMANN, Franz F. P, CÔTÉ, Wilfred A. Jr. **Principles of wood science and technology.** New York, USA. Springer-Verlag Berlin Heidelberg,, 1968.
- 14 - MACHADO, Sebastião A., **Recursos florestais no sul do Brasil.** In: VALORIZAÇÃO INDUSTRIAL DA MADEIRA. Santa Catarina. Florianópolis, 1986.

- 15 - NANNI, Luiz Fernando. **Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFRS. 1986. Porto Alegre. **Caderno Técnico.** p.178.
- 16 - NEIVA, Gerson Shirahama, HELLMEISTER, João César. **Estudo de resinas sintéticas em ligações de madeira.** In: III° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1982. São Paulo. São Carlos. **Anais.** v. 6 p. 109 - 134.
- 17 - NEIVA, Gerson Shirahama. **Estudo de vigas retas de madeira laminada colada.** In: IV° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1992, São Paulo. São Carlos. **Anais.** v. 4, p.1.
- 18 - RIBEIRO, Arley Grieco, **Adesivos para madeira- visão global dos produtos encontrados no mercado brasileiro.** In: VI° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1992. São Paulo. São Carlos. **Anais.** v. 5 p. 101-104.
- 19 - RIGAU, Concepcion. **La madera.** Editorial Blume, Espanha. 1978.
- 20 - SZUCS, Carlos Alberto. **A madeira no mundo dos compósitos.** Engenharia Civil. Santa Catarina. Florianópolis, março 1993.
- 21 - SZÜCS, Carlos Alberto. **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado colado.** Engenharia Civil, Santa Catarina. Florianópolis.
- 22 - SZÜCS, Carolina. **Autoconstrução em madeira.** In: IV° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1992, São Paulo. São Carlos. **Anais.**
- 23 - SZÜCS, Carlos Alberto, et alii. **Análise comparativa dos custos de vigas de madeira laminada colada, concreto e aço.** V° ENCONTRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Minas Gerais. Belo Horizonte, 1995. **Anais.** v. 1.
- 24 - SILVA, Jayme Ferreira da.. **Resistência dos materiais** Editora McGraw Hill do Brasil. Rio de Janeiro. 1972.

ANEXOS

ANEXO - N 1

PINUS ELLIOTTII					
Corpo de	Peso Natu.	Peso Seco	Umidade	Volume	Massa Espe. Natu.
Prova	(g)	(g)	(%)	cm^3	g / cm^3
1	5,73	4,96	15.524	11.177	0.5127
2	5,68	4,93	15.213	11.145	0.5096
3	5,41	4.69	15.352	11.575	0.4674
4	5,08	4,46	13.901	11.477	0.4426
5	5,16	4,55	13.407	11.866	0.4348
6	5,48	4,90	11.837	11.750	0.4664
7	5,77	5,03	14.712	11.586	0.4980
8	5,63	4,92	14.431	11.507	0.4893
9	5,55	4,83	14.907	11.405	0.4866
10	5,10	4,47	14.094	11.290	0.4517
11	4,78	4,27	11.944	11.678	0.4093
12	4,94	4,50	9.778	11.490	0.4299
13	5,83	5,05	15.446	11.501	0.5069
14	5,28	4,53	16.556	11.038	0.4784
15	5,15	4,47	15.213	11.402	0.4517
16	5,81	5,14	13.035	11.494	0.5055
17	5,52	4,90	12.653	11.464	0.4815
18	5,52	4,95	11.515	11.605	0.4757
19	6,55	5,84	12.158	11.750	0.5574
20	6,31	5,61	12.478	11.810	0.5343
21	6,72	5,93	13.322	11.591	0.5798
22	5,75	5,06	13.636	11.509	0.4996
23	6,77	5,90	14.746	11.435	0.5920
24	5,87	5,15	13.981	11.693	0.5020
25	5,63	4,96	13.508	11.532	0.4882
26	5,60	4,88	14.754	11.465	0.4885
27	5,82	5,05	15.248	11.427	0.5093
28	5,37	4,62	16.234	11.227	0.4783
29	4,63	3,98	16.332	10.790	0.4291
30	5,18	4,57	13.348	11.511	0.4500
31	4,88	4,37	11.670	11.735	0.4159
32	5,15	4,56	12.939	11.491	0.4482
33	5,01	4,38	14.384	11.214	0.4468
34	5,23	4,52	15.708	11.622	0.4500
35	6,21	5,40	15.000	11.477	0.5411
36	5,63	4,87	15.606	11.408	0.4935
37	5,85	5,09	14.931	11.477	0.5097
38	5,03	4,56	10.307	11.539	0.4359
39	6,15	5,41	13.678	11.642	0.5282
40	4,96	4,36	13.761	10.985	0.4515

ANEXO - N 1

ANEXO - N 1					
Corpo de Prova	Peso Natu. (g)	PINUS TAEDA		Volume cm^3	Massa Espe. Natu. g / cm^3
		Peso Seco (g)	Umidade (%)		
1	5,03	4,54	10.793	11.253	0.4470
2	4,54	4,06	11.823	10.900	0.4165
3	4,31	3,85	11.948	11.332	0.3803
4	5,06	4,54	11.454	11.886	0.4257
5	5,29	4,73	11.839	11.437	0.4625
6	4,77	4,24	12.500	9.615	0.4961
7	4,67	4,19	11.456	12.098	0.3860
8	4,52	4,04	11.881	11.727	0.3854
9	4,44	3,97	11.839	11.443	0.3880
10	4,47	3,98	12.312	11.531	0.3876
11	6,50	5,86	10.922	11.696	0.5557
12	5,46	4,88	11.885	11.402	0.4788
13	5,15	4,61	11.714	12.148	0.4240
14	4,59	4,09	12.225	12.119	0.3787
15	5,33	4,74	12.447	11.666	0.4569
16	5,67	5,04	12.500	12.187	0.4653
17	5,48	4,88	12.295	12.193	0.4494
18	5,91	5,27	12.144	11.704	0.5049
19	4,67	4,19	11.456	12.192	0.3830
20	4,26	3,81	11.811	11.382	0.3743
21	4,35	3,89	11.825	11.301	0.3849
22	5,18	4,62	12.121	11.390	0.4548
23	4,80	4,30	11.628	10.445	0.4596
24	5,95	5,35	11.215	11.479	0.5183
25	5,07	4,54	11.674	12.066	0.4202
26	4,71	4,21	11.876	11.593	0.4063
27	4,35	3,90	11.538	11.878	0.3662
28	4,87	4,38	11.187	11.801	0.4127
29	4,88	4,39	11.162	11.951	0.4083
30	5,21	4,66	11.803	11.456	0.4548
31	5,48	4,93	11.156	12.111	0.4525
32	5,03	4,51	11.530	12.184	0.4128
33	5,48	4,91	11.609	12.221	0.4484
34	6,06	5,44	11.397	11.861	0.5109
35	6,47	5,80	11.552	12.237	0.5287
36	6,61	5,90	12.034	11.863	0.5572
37	5,06	4,53	11.700	11.855	0.4268
38	4,72	4,23	11.584	12.222	0.3862
39	4,80	4,26	12.676	11.279	0.4256
40	5,37	4,79	12.109	11.730	0.4578

ANEXO - N 2				
PINUS ELLIOTTII				
Resistências de ruptura				
Corpo de Prova	Comp. paralela	Tração normal	Tração paralela	Cisalhamento
	MPa	MPa	MPa	MPa
1	22.046	3.127	56.068	3.67425
2	27.324	3.247	44.314	5.6925
3	26.082	2.179	58.829	7.038
4	26.910	0.592	22.979	4.60575
5	24.944	1.085	34.505	5.589
6	31.464	1.635	36.382	5.84775
7	24.944	1.165	42.188	10.19475
8	26.910	0.834	16.068	7.50375
9	27.428	2.696	30.186	7.1415
10	24.426	3.005	38.418	5.33025
11	28.670	1.246	45.560	7.245
12	29.860	1.050	30.295	5.2785
13	21.735	1.506	39.165	3.8295
14	19.820	1.326	44.998	3.77775
15	21.476	1.080	37.105	5.12325
16	27.686	2.975	21.136	4.8645
17	29.239	0.349	40.429	5.33025
18	40.055	0.960	5.311	4.60575
19	40.106	1.153		4.8645
20	41.090	1.039		4.19175
21	45.281	1.561		5.84775
22	45.799	4.070		4.39875
23	37.260	3.626		4.50225
24	20.700	4.470		5.12325
25	24.064	3.197		5.33025
26	26.393	4.155		5.382
27	24.530	3.466		4.347
28	20.804	4.662		5.22675
29	27.635	4.485		4.08825
30	25.151	5.018		4.347
31	26.134	4.327		3.8295
32	24.944	4.664		3.67425
33	21.011	3.844		6.26175
34	21.839	4.047		5.33025
35	21.890	3.738		5.84775
36	38.088	2.622		
37	20.907			
38	24.219			
39	24.219			

ANEXO - N 2				
PINUS TAEDA				
Corpo de	Resistências de ruptura			
Prova	Comp. paralela	Tração normal	Tração paralela	Cisalhamento
	MPa	MPa	MPa	MPa
1	27.376	3.688	37.330	6.57225
2	23.029	3.011	39.205	5.84775
3	23.236	3.180	48.984	5.64075
4	26.186	3.146	68.141	7.038
5	23.184	2.833	57.259	8.84925
6	21.632	3.105	39.404	7.5555
7	26.755	2.645	84.779	7.71075
8	23.960	2.444	38.246	5.74425
9	22.667	2.365	77.908	7.08975
10	22.408	1.968	26.358	7.19325
11	28.152	1.855	75.451	4.70925
12	27.635	1.666	84.247	5.01975
13	30.326	1.187	42.307	6.003
14	25.979	1.620	44.652	6.15825
15	33.120	1.698	62.679	6.1065
16	33.224	3.024	68.083	4.60575
17	30.170	1.873	22.159	5.382
18	30.377	1.645	37.563	4.70925
19	27.065	2.145		5.796
20	22.460	2.441		5.589
21	23.909	2.254		5.43375
22	27.324	3.496		4.60575
23	26.807	3.051		5.12325
24	30.740	1.981		4.81275
25	25.875	1.949		3.933
26	24.323	3.080		4.347
27	24.995	1.543		5.2785
28	32.706	1.227		4.19175
29	32.603	1.851		4.70925
30	21.373	2.008		3.6225
31	36.432	3.081		3.933
32	31.309	2.844		4.50225
33	35.449	2.945		5.589
34	41.400	2.976		4.347
35	40.934	2.823		
36	38.813	2.845		
37	31.671			
38	29.446			
39	21.890			
40	28.825			

A N E X O - 3**PINUS ELLIOTTII**

Corpo de prova	Corpo de prova de 20mm x 20mm x 400mm	Corpo de prova de 50mm x 50mm x 760mm	
	Resis. a ruptura por flexão	Resis. a ruptura por flexão	Mód. Elasticidade médio
	MPa	MPa	MPa
1	60.5475	22.3685649	3048.429726
2	58.995	31.8723075	3491.644722
3	62.87625	30.3656166	3299.374896
4	56.66625	30.5974152	5086.979125
5	55.89	35.928783	5682.888228
6	27.16875	39.9852585	5084.276179
7	60.5475	25.9614432	3389.002944
8	61.32375	32.451804	4179.827573
9	58.21875	26.1932418	3358.475309
10	49.68	39.1739634	5472.775566
11	58.995	45.200727	5870.417651
12	50.45625	35.3492865	4139.434556
13	32.6025	33.0313005	4224.50209
14	41.14125	28.974825	3901.369599
15	57.4425	31.0610124	3992.262576
16	51.2325	18.3120894	3943.901394
17	39.58875	35.2333872	4362.600376
18	46.575		
20	71.415		
21	88.4925		
22	85.3875		
23	83.05875		
24	62.87625		
25	55.89		
26	55.89		
27	55.89		
28	48.1275		
29	38.03625		
30	34.93125		
31	56.66625		
32	32.6025		
33	43.47		
34	49.68		
35	55.89		

ANEXO - 3			
PINUS TAEDA			
Corpo de prova	Corpo de prova de 20mm x 20mm x 400mm	Corpo de prova de 50mm x 50mm x 760mm	
	Resis. a ruptura por flexão	Resis. a ruptura por flexão	Mód. Elasticidade médio
	MPa	MPa	MPa
1	47.35125	55.7475633	9429.397613
2	42.69375	67.4533926	8796.617121
3	44.24625	36.5082795	7511.090819
4	31.82625	32.6836026	5821.725772
5	34.155	35.6969844	6824.697116
6	18.63	52.154685	8123.311636
7	45.79875	54.472671	6475.205103
8	36.48375	55.9793619	8074.705339
9	39.58875	53.1977787	6856.406501
10	36.48375	70.4667744	10902.92729
11	45.79875	43.3463382	4977.303093
12	27.945	73.016559	10323.09552
13	73.74375	93.0671379	14373.21955
14	27.16875	55.2839661	6890.438931
15	63.6525		
16	38.03625		
17	24.84		
18	27.16875		
19	58.21875		
20	41.9175		
21	50.45625		
22	56.66625		
23	46.575		
24	30.27375		
25	55.89		
26	32.6025		
27	48.1275		
28	65.205		
29	36.48375		
30	58.995		
31	88.4925		
32	73.74375		
33	58.21875		

ANE XO - 4															
RESISIECIA A RUPTURA POR TRACAO NORMAL															
Corpo de prova	Cola pura	água			álcool			água (50%) + álcool (50%)							
		10%	20%	30%	40%	50%	10%	20%	30%	10%	20%	30%			
1	2.484	3.2085	1.9251	4.968	2.0493	4.347	6.3342	4.968	1.6146	2.5668	2.5668	2.5668			
2	3.1464	3.0222	1.9044	3.105	2.3805	2.7324	5.4234	3.312	2.3805	2.8566	2.8566	2.8566			
3	2.2149	2.8566	1.7595	4.347	2.691	3.6018	4.4505	2.6496	2.484	3.312	3.312	3.312			
4	3.8295	2.9601	3.0015	4.0986	2.7945	3.4155	4.4505	3.3741	2.8566	2.8566	2.8566	2.8566			
5	2.6703	3.933	1.4076	4.14	2.7117	2.6289	5.8788	4.3056	1.5525	3.4155	3.4155	3.4155			
6	2.3805	1.5525	2.5875	4.7196	2.484	2.07	4.0986	3.933	1.7388	2.7324	2.7324	2.7324			
7	3.0636	4.2435	2.8566	4.968	3.0015	2.277	4.9059	3.6846	1.9665	2.5668	2.5668	2.5668			
8	1.863	1.8009	1.4076	2.898	3.105	2.9808	4.554	3.4155	2.2356	3.6432	3.6432	3.6432			
9	2.2149	3.7881	3.1464	3.6225	2.4012	3.5397	4.5126	1.449	1.5939	3.726	3.726	3.726			
10	3.0015	2.7324	2.5668	4.3884	2.9601	2.2563	4.2435	3.3948	1.9458	2.5875	2.5875	2.5875			
11	3.105	3.2085	1.4904	3.312	2.6082	3.933	5.2164	3.6846	1.5525	0.9315	0.9315	0.9315			
12	2.6496	4.0365	1.5111	3.7674	2.4219	2.8359	5.2164	4.0158	2.2149	2.5254	2.5254	2.5254			
13	2.4219	3.4155	2.2977	2.484	2.5875	1.9044	4.14	2.898	2.1735	3.0636	3.0636	3.0636			
14	1.9044	2.7945	1.9665	2.898	2.1735	2.5047	4.554	3.8916	1.6146	3.2085	3.2085	3.2085			
15	1.863	3.2913	2.2356	3.7674	1.9044	3.0636	5.3406	3.519	2.0286	3.2085	3.2085	3.2085			
16	3.1464	3.1464	1.656	3.0429	2.6082	3.6225	4.2435	3.312	1.7595	2.4426	2.4426	2.4426			

ANEXO - 5					
ENSAIO DE FLEXÃO DAS VIGAS DE 100mm x 150mm x 2700mm					
VIGA	Cola pura		Cola diluída a 40%		
	Reistência à Rup-	Mód. de Elasti-	Reistência à Rup-	Mód. de Elasti-	
	tura	cidade médio	tura	cidade médio	
	MPa	MPa	MPa	MPa	
1	24.969	7129.619	35.690	8513.504	
2	33.177	8933.774	41.753	11440.616	
3	33.177	8111.900	27.564	8520.366	
4	20.988	9636.540	40.435	12959.580	
5	30.716	7456.392	38.707	8947.719	
6	29.674	7370.362	36.235	7808.649	
7			25.457	9864.155	
8			42.460	11198.796	

ANEXO - 6

ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES DAS VIGAS COM LÂMINAS DE ESPESSURAS DIFERENTES															
VIGA	1cm			2cm			3cm			4cm			5cm		
	Resit. à rup- tura	Mód. Elasti- cidade médio	MPa	Resit. à rup- tura	Mód. Elasti- cidade médio	MPa	Resit. à rup- tura	Mód. Elasti- cidade médio	MPa	Resit. à rup- tura	Mód. Elasti- cidade médio	MPa	Resit. à rup- tura	Mód. Elasti- cidade médio	
1	23.5588757	9931.07087		24.9685406	7129.61935		6.54415102	14.8455856		14.8455856	6652.24174		13.8008957	5265.36336	
2	18.7616258	6981.00864		33.1767693	8933.77377		24.1901115	20.2728074		20.2728074	4958.91049		32.1564883	8408.25399	
3	10.5148941	14150.7542		33.1767693	8111.90027		26.0520471	21.6367184		21.6367184	8836.14162		46.168872	8897.75227	
4	24.8444634	8230.55233		20.9881405	9636.54008		26.6026689	36.2000941		36.2000941	8809.39769		19.2317411	9736.56911	
5	12.3623709	8622.12599		30.715873	7456.39226		27.8265604	29.3411337		29.3411337	5466.47464		31.4143793	7842.16342	
6	36.6853095	12128.5474		29.6744989	7370.36249		25.0301063	42.3545076		42.3545076	11559.4498		28.3065152	11721.7342	